

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO LXVI - Numero 1-2-3 - APRILE-GIUGNO 2012

Direttore

Carla Barovetti

Segretario

Davide Rolfo

Tesoriere

Claudio Vaglio Bernè

Art Director

Riccardo Franzero

Comitato di redazione

Domenico Bagliani, Alessandro De Magistris, Guglielmo Demichelis, Marco Filippi,
Alessandro Martini, Paolo Picco, Costanza Roggero, Valerio Rosa, Andrea Rolando,
Mauro Sudano, Mauro Volpiano

Sede

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Corso Massimo d'Azeglio 42, 10123 Torino, telefono 011 - 6508511 - www.siat.torino.it

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.



A&RT

Questo numero di «A&RT» pubblica gli atti del ciclo di incontri Innovazione tecnologica sostenibile in edilizia svolti presso il Salone d'Onore del Castello del Valentino, Facoltà di Architettura – Politecnico di Torino nei giorni 23, 30 marzo, 6, 13, 20 aprile 2011, organizzato dalla Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino e da ITAC – Dottorato di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito del Politecnico di Torino

con il patrocinio di

Regione Piemonte

Provincia di Torino

Città di Torino

Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Torino

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino

Green Building Council Italia

Collegio Costruttori Edili – ANCE Torino

con il contributo di

Artemide

Building Intelligence Group

E++

Fresia Alluminio

Gyproc Saint Gobain

Intesa SanPaolo

Knauf

Lavazza

OnLeco

Autodesk – Pico

Recchi Ingegneria e Partecipazione

Rockwool

Solesa

Unopor

media partner

Il Giornale dell'Architettura

Modulo

Cura del numero: Marco Filippi con Enrico Fabrizio.

SOMMARIO
SUMMARY

Carla Barovetti	Editoriale <i>Editorial</i>	pag. 9
LA COSTRUZIONE SOSTENIBILE CERTIFICATA CERTIFIED SUSTAINABLE BUILDING		
Daniele Guglielmino	Introduzione <i>Foreword</i>	pag. 14
Marco Filippi, Valeria Branciforti	Green Building e Green Washing <i>Green Building and Green Washing</i>	pag. 15
Andrea Moro	ESIT: il processo di certificazione nazionale Protocollo Itaca <i>ESIT: the Italian National certification process Protocollo Itaca</i>	pag. 22
Alessandro Speccher	I protocolli LEED® per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici e la loro introduzione in Italia <i>I protocolli LEED® per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici e la loro introduzione in Italia</i>	pag. 25
Daniele Guglielmino	Green buildings: processo integrato e nuove professioni <i>Green buildings: integrated process and new professionals</i>	pag. 32
Marco Carone, Vincenzo Diego Cutugno	Responsabilità professionali per la sostenibilità certificata <i>Professionals responsibility for sustainable building certification</i>	pag. 38
Paolo Corradini	Un edificio LEED®: il nuovo Centro Direzionale Lavazza <i>A LEED® building: the new Lavazza Headquarter</i>	pag. 44
L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER GLI INVOLUCRI EDILIZI. PRODOTTI, SISTEMI, CASI DI STUDIO TECHNICAL EVOLUTION OF BUILDING ENVELOPES. PRODUCTS, SYSTEMS AND CASE STUDIES		
Valentina Serra	Introduzione <i>Foreword</i>	pag. 52
Marco Perino, Lorenza Bianco	Il ruolo dell'involucro nell'edificio a basso consumo energetico <i>The role of energy-efficient building envelope</i>	pag. 53
Valentina Serra, Lorenza Bianco	Involucri opachi e trasparenti di ultima generazione: prestazioni energetiche e soluzioni tecniche <i>Next generation building envelope components: energy performance and technical solution</i>	pag. 61
Gabriele Masera	Le tecnologie struttura/rivestimento per l'efficienza energetica <i>Structure/envelope technologies for energy efficient buildings</i>	pag. 69
Elena Montacchini	Involucri verdi: una tecnologia sostenibile <i>Green envelope: a sustainable technology</i>	pag. 76
Roberto Giordano	Il ruolo dei materiali dell'involucro edilizio tra certificazione di prodotto e nuove direttive nel settore dell'efficienza energetica <i>The environmental assessment of building materials with regards to Product Labels and European Directive concerning the energy efficiency in the building sector</i>	pag. 82
Massimiliano Fadin	Il futuro dei serramenti in alluminio <i>The future of aluminum frames</i>	pag. 90
Claudio Perino	Un caso di studio: edificio di legno con utilizzo di PCM: P.U.E.L.L. <i>A case study: a wood building with PCM: P.U.E.L.L.</i>	pag. 97
Stefano Cremona, Carlo Micono	Involucri trasparenti e schermature solari ad alto contenuto tecnologico: l'approccio integrato al progetto <i>Advanced transparent envelopes and solar shadings: the integrated approach in building design</i>	pag. 103

**L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA
PER I SISTEMI ENERGETICI E GLI IMPIANTI
TECHNICAL INNOVATION FOR PRIMARY AND SECONDARY SYSTEMS**

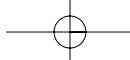
Marco Filippi	Introduzione <i>Foreword</i>	pag. 114
Luca Stefanutti	Gli impianti per gli edifici sostenibili <i>HVAC for sustainable building</i>	pag. 115
Massimiliano Scarpa	Impianti a radiazione per il riscaldamento e il raffrescamento <i>Radiant panels for heating and cooling</i>	pag. 121
Michele Vio	Le prestazioni delle pompe di calore <i>The heat pumps performances</i>	pag. 128
Marco Beccali	Prospettive di sviluppo degli impianti solari termici <i>Advances on solar thermal system</i>	pag. 144
Stefano Fissolo, Serena Damiano, Alice Morra, Marco Rinaldi	Prospettive di sviluppo degli impianti solari fotovoltaici <i>Advances on photovoltaic systems</i>	pag. 151
Gianluca Dho	La sfida della domotica <i>The challenge of home automation</i>	pag. 158

**L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA QUALITÀ AMBIENTALE
DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE
ENERGY EFFICIENCY AND INDOOR QUALITY
OF THE EXISTING BUILDINGS**

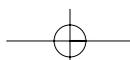
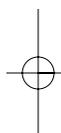
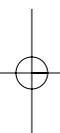
Stefano Paolo Corgnati	Introduzione <i>Foreword</i>	pag. 164
Vincenzo Corrado	Stato attuale della normativa nazionale e regionale in tema di contenimento dei consumi energetici in edilizia <i>Current status of national and regional legislation regarding reduction of energy consumption in buildings</i>	pag. 165
Lorenzo Balsamelli	La diagnosi e la contabilizzazione energetica nell'edilizia residenziale <i>Energy audit and accounting in residential buildings</i>	pag. 172
Mauro Tricotti	Gli interventi per l'isolamento termico degli edifici esistenti <i>Thermal insulation of existing buildings</i>	pag. 181
Stefano Paolo Corgnati	Il monitoraggio energetico e ambientale del patrimonio edilizio esistente <i>Energy and indoor environment monitoring of existing building stock</i>	pag. 187
Roberto Gerbo	Sistema di monitoraggio e interventi per la riduzione dei consumi energetici nei siti bancari <i>Monitoring and actions to reduce energy consumption in banks</i>	pag. 194
Giovanni La Bella, Paolo Strada, Attila Oldano	Efficientamento energetico dei palazzi uffici eni <i>Energy retrofitting of the eni office buildings</i>	pag. 202
Piero Bozza	ICT per l'energia: il progetto WiFi4Energy del Politecnico di Torino <i>Information and Communication Technologies applied to energy management: the WiFi4Energy project at Politecnico di Torino</i>	pag. 211
Barbara Conti, Valeria Branciforti	La responsabilità energetico-ambientale di una grande industria: le azioni per la riqualificazione del patrimonio immobiliare esistente e i nuovi progetti di Lavazza S.p.A. <i>The energy and environmental responsibility of a big firm: retrofit actions on the existing building stock and new projects of Lavazza S.p.A</i>	pag. 220

**I NUOVI APPROCCI AL PROGETTO EDILIZIO
NEW APPROACHES TO BUILDING DESIGN**

Enrico Fabrizio	Introduzione <i>Foreword</i>	pag. 230
Riccardo Balbo	La progettazione parametrica: la genetica dell'architettura o fashion digitale? <i>Parametric design: architecture genetic or digital fashion?</i>	pag. 231
Massimiliano Lo Turco, Anna Osello	Il Building Information Modeling (BIM) e l'interoperabilità delle informazioni <i>Building Information Modeling (BIM) and data interoperability</i>	pag. 238
Graziano Lento	Esempi di progettazione sostenibili con il BIM <i>BIM for sustainable buildings</i>	pag. 248
Filippo De Rossi, Nicola Bianco, Giuseppe Peter Vanoli, Fabrizio Ascione, Gianluca Turni	Il calcolo delle prestazioni per i componenti di involucro innovativi <i>The energy performance evaluation of innovative building envelopes</i>	pag. 252
Enrico Fabrizio	L'Energy Modelling <i>The Energy Modelling</i>	pag. 263
Alberto Altavilla, Fabio Favoino	Esempi di progettazione energetica assistita da computer: modellazione dinamica e fonti rinnovabili per il Parco del Karakorum <i>Energy simulations for building design: dynamic simulation and renewable sources for Karakorum Park</i>	pag. 271
Anna Pellegrino	Limiti e prospettive della progettazione illuminotecnica assistita da computer <i>Drawbacks and perspectives of the use of computer simulations in lighting design</i>	pag. 281
Arianna Astolfi, Alessia Griginis	Limiti e prospettive della progettazione acustica assistita da computer <i>Limits and perspectives of computer-assisted acoustic design</i>	pag. 290
INFORMAZIONE PUBBLICITARIA COMMERCIAL INFORMATION		
Edoardo Cignoni	Sistema comfort acustico	pag. 299
Luigi Semino	Gyproc fa respirare la tua casa	pag. 301



A&RT



Editoriale

Editorial

Il termine “architettura sostenibile” è un termine oggi di moda e molto di frequente non correttamente utilizzato. Ne fanno genericamente uso i committenti pubblici e privati, nel bandire concorsi di architettura o gare di affidamento di servizi di ingegneria, per sottolineare la loro volontà di realizzare edifici di buona qualità e durevoli nel tempo; ne fanno genericamente uso i progettisti per sottolineare l'attenzione che essi hanno dedicato alle tematiche energetiche e ambientali.

Ma che cosa vuol dire architettura sostenibile? Quali sono i parametri che determinano il livello di sostenibilità di un intervento edilizio? Come si verifica il raggiungimento di tale livello?...e poi ancora: Come funzionano in realtà gli edifici cosiddetti “sostenibili”? Si raggiungono davvero gli obiettivi di minimo consumo di risorse naturali, di contenimento dei fabbisogni di energia e acqua? Vi sono tecnologie specifiche, edilizie o impiantistiche, che garantiscono la sostenibilità di una costruzione?

Per dare una risposta a queste domande la SIAT ha invitato un folto numero di relatori, provenienti da esperienze universitarie, professionali e aziendali, ad intervenire nel ciclo di incontri dal titolo *Innovazione Tecnologica Sostenibile in Edilizia* tenutosi a Torino, presso la sede delle Facoltà di Architettura del Politecnico, nei mesi di marzo e aprile del 2011.

All'organizzazione dell'evento ha contribuito anche il Dottorato “Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito” del Politecnico di Torino, luogo di formazione di figure di architetti e ingegneri in grado di risolvere problemi progettuali e tecnologici, concepire e sviluppare prodotti e sistemi innovativi e gestire processi di innovazione tecnologica in un'ottica di sostenibilità.

Il primo appuntamento (23 marzo) ha riguardato il tema della *Costruzione Sostenibile Certificata*. Si è discusso il significato di costruzione sostenibile, descrivendo metodi, processi e strumenti di valutazione e mettendo in evidenza gli obblighi di cui i professionisti sono investiti nei confronti delle committenze. Al termine dell'incontro è stato illustrato il progetto del Nuovo Centro Direzionale Lavazza a Torino, che si caratterizzerà per il raggiungimento di un livello di sostenibilità Gold secondo il protocollo LEED® del Green Building Council Italia.

Il secondo e il terzo appuntamento (30 marzo e 6 aprile), sono stati dedicati all'*Innovazione Tecnologica*, rispettivamente, *per gli Involucri Edilizi* e *per i Sistemi Energetici e gli Impianti* a servizio degli edifici: sono state descritte nel dettaglio le soluzioni tecnologiche di avanguardia oggi disponibili sul mercato per rendere gli edifici maggiormente sostenibili. Si è quindi parlato di involucri trasparenti tecnologicamente evoluti e di involucri verdi, di materiali a cambiamento di fase e di edifici in legno, oltre che di pompe di calore, impianti solari termici e fotovoltaici, impianti radianti per la climatizzazione, micro-cogeneratori e trigeneratori, illuminazione efficiente e domotica.

Un quarto appuntamento (13 aprile) è servito per ricordare che il concetto di sostenibilità non riguarda soltanto il progetto e la realizzazione di un edificio, ma anche, e soprattutto, la sua gestione lungo tutto il ciclo di vita. Così nell'incontro dedicato all'*Efficienza Energetica e alla Qualità Ambientale del Patrimonio Edilizio Esistente* si è focalizzata l'attenzione sui consumi di energia degli edifici dopo che sono stati costruiti e sulle tecnologie atte a ridurli: dall'incremento dell'isolamento termico dell'involucro edilizio al monitoraggio energetico e ambientale, dalle tecniche di *energy management* al contributo delle Information and Communication Technologies (ICT).

Poiché l'innovazione tecnologica non può prescindere dalla crescita culturale del mondo professionale che gestisce i processi di progettazione e costruzione degli edifici in un quinto e ultimo appuntamento (20 aprile) si è voluto affrontare il tema dei *Nuovi Approcci al Progetto Edilizio*, sottolineando la rapida evoluzione che le tecniche e gli strumenti di progettazione stanno subendo in questi anni ai fini non solo di rendere il processo progettuale più rapido e sicuro, ma anche di renderlo più consapevole con riferimento alle tematiche proprie dell'architettura sostenibile. Il concetto di progettazione parametrica si è così sostanziato attraverso la conoscenza di tecniche di Building Information Modeling (BIM) e di software per la progettazione energetica, illuminotecnica e acustica.

Gli incontri, fra loro connessi attraverso il *fil rouge* dell'innovazione dei prodotti e dei processi edilizi, sono stati frequentati da un pubblico numeroso, costituito da professionisti, imprenditori, studenti, soci e non soci SIAT e, data la consistente e certamente interessante massa di informazioni raccolte, si sono voluti raccogliere in questo numero di «A&RT» le relazioni presentate allo scopo di costituirne spunto per ulteriori approfondimenti e dibattiti.

Carla Barovetti



ITS

**INNOVAZIONE
TECNOLOGICA
SOSTENIBILE
in EDILIZIA**

**CICLO DI INCONTRI
MARZO e APRILE 2012**

**SALONE D'ONORE
DEL CASTELLO DEL VALENTINO
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA
POLITECNICO DI TORINO**



EDP e ZOOMING (2012)



COMITATO SCIENTIFICO

Mario Filippi, Accademia di Brera (moderatore)
 Carlo Calchi, Politecnico di Torino
 Stefano Cirio, Politecnico di Torino
 Enrico Fabiani, Università di Roma
 Roberto Pagani, Università di Torino
 Emanuele Riccio, Università del Piemonte Orientale
 Antonio Ricciarini, Università del Piemonte Orientale
 Valerio Rossi, Università del Piemonte Orientale
 Mariolina Serey, Politecnico di Torino
 Claudio Vaghi, Università del Piemonte Orientale

SECRETARIA ORGANIZZATIVA

Anna Gagnoli, Università del Piemonte Orientale
 Elisabetta Gagnoli, Università del Piemonte Orientale
 Sara Izzo, Università del Piemonte Orientale

UFFICIO STAFF

Marta Enrico Giannini, Università del Piemonte Orientale



SIAT

Nata nel 1980 come Società degli Ingegneri e degli Architetti a Strada Società degli Ingegneri e degli Architetti nel 1989, in ogni periodo della sua storia la SIAT ha perfezionato al massimo del sapere tecnico e scientifico, l'uso di materiali e di strumenti, questa parte di riferimento alla più innovativa tecnologia di produzione edilizia. La SIAT ha ottenuto così, grazie alla professionalità di ingegneri e architetti nel campo dell'ingegneria e dell'architettura per consentire alle attività del lavoro dei tecnici e degli architetti, fornire una continua serie di servizi/consulenze sotto il profilo tecnico e culturale.

Se i servizi offerti:

- pubblicazione degli opuscoli "Art e Tecnologia Spazio"
- corsi, seminari e convegni a cadenza semestrale
- consulenza, progetto e direzione dei lavori dell'ingegneria e dell'architettura in ogni fase del ciclo di vita di un edificio
- organizzazione di iniziative culturali nel campo dell'ingegneria e dell'architettura

www.siat.it




ITAC

Il Comitato "Innovazione Tecnologica per l'Architettura" del Politecnico di Torino nasce con il DDL 12006/2008. In collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria del Sistema Edilizio e Ambientale, contribuisce in modo decisivo all'attività di ricerca, sviluppo e trasferimento di ricerca del Dipartimento di Ingegneria del Sistema Edilizio e Ambientale, e Dipartimento di Energetica, di Organizzazione Casa-CASA, di Dipartimento di Progettazione Architettonica e Design Interdisciplinare e Dipartimento di Scienze e Tecnologie per il Progetto e l'Innovazione.

Essi, tenuti in alta considerazione, attraverso la loro attività di ricerca, sviluppo e trasferimento di ricerca, contribuiscono al processo di innovazione tecnologica e culturale del sistema edile e ambientale. L'attività di ricerca, sviluppo e trasferimento di ricerca, è svolta in stretta collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria del Sistema Edilizio e Ambientale, e Dipartimento di Energetica, di Organizzazione Casa-CASA, di Dipartimento di Progettazione Architettonica e Design Interdisciplinare e Dipartimento di Scienze e Tecnologie per il Progetto e l'Innovazione.

Essi, tenuti in alta considerazione, attraverso la loro attività di ricerca, sviluppo e trasferimento di ricerca, contribuiscono al processo di innovazione tecnologica e culturale del sistema edile e ambientale. L'attività di ricerca, sviluppo e trasferimento di ricerca, è svolta in stretta collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria del Sistema Edilizio e Ambientale, e Dipartimento di Energetica, di Organizzazione Casa-CASA, di Dipartimento di Progettazione Architettonica e Design Interdisciplinare e Dipartimento di Scienze e Tecnologie per il Progetto e l'Innovazione.

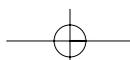
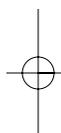
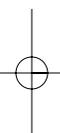


22 gennaio	23 marzo 2011	23 gennaio	30 marzo 2011
	LA COSTRUZIONE SOSTENIBILE CERTIFICATA		L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER GLI INVOLUCRI EDILIZI
	14.00 Registrazione e iscrizioni		14.00 Registrazione e iscrizioni
	14.30 Salvo Francesco Prefumo - <i>Autore del Manuale di Scelta</i> Roberto Marando - <i>Direct (Associazione Nazionale di Unificati della Regione Marche)</i> Carla Barovetti - <i>Prosecco S&T</i> Marco Filippi - <i>Coordinatore del Laboratorio Ricerca Innovazione Tecnologica per l'Architettura</i> (per il Dipartimento di Ingegneria)		14.30 Il ruolo dell'involucro nell'edificio a basso consumo energetico Marco Perino - <i>Prosecco S&T</i>
	15.00 Green building e green marketing Marco Filippi - <i>Prosecco S&T</i>		15.00 Indicazioni e strumenti di ultima generazione per la certificazione energetica e qualità ambientale Valentina Serra - <i>Prosecco S&T</i>
	15.30 I temi progettuali della costruzione sostenibile Paolo Baggio - <i>Prosecco S&T</i>		15.30 La tecnologia Building Information Modeling (BIM) per l'efficienza energetica Gabriele Masera - <i>Prosecco S&T</i>
	16.00 L'esperienza italiana del protocollo ITACA Andrea Moro - <i>ITACA</i>		16.00 Il ruolo del materiale dell'involucro in edifici a certificazione di prodotto e nuove tendenze nel settore dell'edilizia intelligente Roberto Giordano - <i>Prosecco S&T</i>
	16.30 La produzione del sistema LEED® in Italia Alessandro Specchia - <i>Green Building Council Italia</i>		16.30 Colloquio
	16.40 Colloquio Intervista alle commissioni professionali per la costruzione sostenibile Daniela Guglielmo - <i>Prosecco S&T</i>		16.40 Colloquio Esempi di interventi operati Michael Tribus - <i>Prosecco S&T</i>
	17.00 Responsabilità professionali e costituzione di un comitato di certificazione Marco Carone - <i>Prosecco S&T</i>		17.00 Il futuro del settore in alluminio Marcantonio Fadda - <i>Prosecco S&T</i>
	17.30 Un edificio certificato LEED® a Torino: il Nuovo Centro Direzionale Lavazza Marco Lavazza - <i>Prosecco S&T</i>		17.30 Un caso di studio: il progetto di un edificio a basso consumo energetico Claudio Perino - <i>Prosecco S&T</i>
	18.00 Chiusura Giambattista Quirico - <i>Prosecco S&T</i>		18.00 Esempi di interventi operati e presentazioni finali Carlo Mucchi - <i>Prosecco S&T</i>
	18.30 Chiusura		18.30 Chiusura
	19.00 Apertura Lavazza		

24 gennaio	25 gennaio	26 gennaio
Mercoledì 6 aprile 2011	venerdì 13 aprile 2011	Sabato 20 aprile 2011
L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER I SISTEMI ENERGETICI E GLI IMPIANTI	L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA QUALITÀ AMBIENTALE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE	I NUOVI APPROCCI AL PROGETTO EDILIZIO
14.00 Registrazione e iscrizioni Marco Masoero - <i>Prosecco S&T</i>	14.00 Registrazione e iscrizioni Marco Filippi - <i>Prosecco S&T</i>	14.00 Registrazione e iscrizioni Anna Ouda - <i>Prosecco S&T</i>
14.30 Gli impianti per gli edifici esistenti Luca Stefanetti - <i>Prosecco S&T</i>	14.30 Stato attuale della normativa nazionale e regionale in tema di contenimento dell'emissione di CO2 Vincenzo Corrado - <i>Prosecco S&T</i>	14.30 La progettazione parametrica Riccardo Balbo - <i>Prosecco S&T</i>
15.00 Impianti a cellulosa per il riscaldamento e il raffrescamento Michele De Carli - <i>Prosecco S&T</i>	15.00 La diagnosi e la riqualificazione energetica nei edifici esistenti Lorenzo Balsarelli - <i>Prosecco S&T</i>	15.00 Il Building Information Modeling (BIM) e l'interoperabilità delle informazioni Massimiliano La Turco - <i>Prosecco S&T</i>
15.30 Pompe di calore ad alta efficienza energetica Michela Via - <i>Prosecco S&T</i>	15.30 Gli interventi per il riscaldamento (escluso il riscaldamento a terra) Mario Tricoffi - <i>Prosecco S&T</i>	15.30 Esempi di progettazione sostenibile attraverso il BIM Graziano Lente - <i>Prosecco S&T</i>
16.00 Prosecco di sviluppo degli impianti geotermici Marco Baccalà - <i>Prosecco S&T</i>	16.00 Il monitoraggio energetico e ambientale dei consumi: edifici esistenti Stefano Cognigni - <i>Prosecco S&T</i>	16.00 Il caso della progettazione per i componenti di prodotto intelligenti Filippo De Rosa - <i>Prosecco S&T</i>
16.30 Prosecco di sviluppo degli impianti geotermici Stefano Fazio - <i>Prosecco S&T</i>	16.30 Servizi di monitoraggio e interventi per la riduzione dei consumi energetici nei edifici esistenti Roberto Gode - <i>Prosecco S&T</i>	16.30 L'Energy Modeling Enrico Fabrizio - <i>Prosecco S&T</i>
16.40 Colloquio Limiti e prospettive della "certificazione energetica" degli edifici residenziali e terziari Ennio Macchi - <i>Prosecco S&T</i>	16.40 Colloquio Il monitoraggio energetico dei consumi negli edifici Giovanni La Bella, Paolo Scrodo - <i>Prosecco S&T</i>	16.40 Colloquio Esempi di progettazione energetica sostenibile: da impianti a edifici intelligenti Alberto Altavilla - <i>Prosecco S&T</i>
17.00 Il caso del riscaldamento a terra Fabio Zanola - <i>Prosecco S&T</i>	17.00 ICT per l'edilizia: il progetto WAVE Energy City Piero Bocca - <i>Prosecco S&T</i>	17.00 Limiti e prospettive della progettazione parametrica sostenibile del computer Anna Pellegrini - <i>Prosecco S&T</i>
17.30 La sfida della domotica Giuliana Dho - <i>Prosecco S&T</i>	17.30 La sostenibilità energetica ambientale di una grande struttura: le opere per la riqualificazione del patrimonio immobiliare esistente di un nuovo progetto Barbara Conti - <i>Prosecco S&T</i>	17.30 Limiti e prospettive della progettazione acustica sostenibile del computer Arianna Astolfi - <i>Prosecco S&T</i>
18.00 Il futuro di Giorgio Galassi <i>Prosecco S&T</i>	18.00 Ritorno di Piero Cornaglia <i>Prosecco S&T</i>	18.00 Ritorno di Giuseppe Biondi <i>Prosecco S&T</i>
18.30 Chiusura	18.30 Chiusura	18.30 Chiusura



A&RT



La costruzione sostenibile certificata
Certified sustainable building



A&RT

Introduzione

Foreword

L'espressione *Green Building* identifica una visione del costruito a basso impatto ambientale, con un uso contenuto delle risorse e in grado di assicurare condizioni di comfort elevate per l'utenza. Si tratta di una visione del sistema edificio impianti allargata rispetto alla sola ed ormai consolidata *questione energetica* poiché abbraccia aree tematiche diverse, benché concettualmente correlate.

La compresenza di tali aree tematiche richiama inevitabilmente la necessità di strumenti e competenze adeguati, ossia in grado di condurre gli obiettivi del processo ad un risultato positivo e concreto, evitando il fenomeno diffuso del *Green Washing*, ossia la sostenibilità costruita intorno a buone intenzioni, efficaci promozioni, ottime immagini e scarso riscontro nei contenuti che oggettivamente identificano la prestazione del costruito secondo gli indicatori ambientali. Nel primo incontro si è rivolta l'attenzione alla *Sostenibilità Certificata* ossia ai processi, agli strumenti e alle professionalità necessarie per definire, perseguire e raggiungere un obiettivo *Green*, riconosciuto da soggetti indipendenti che ne attestino il concreto risultato.

La presentazione del significato di costruzione sostenibile certificata rispetto al più diffuso fenomeno del *Green Washing*, curata da Marco Filippi, fornisce lo spunto per una serie di riflessioni connesse all'equivoco che spesso lega l'intento di costruire sostenibile rispetto alle strategie perseguite e alla possibilità di dimostrarne i benefici.

Gli strumenti in uso per guidare processi edilizi virtuosi sono molteplici e presenti su contesti nazionali e internazionali. Andrea Moro, presidente di iSBE Italia, introduce il sistema ESIT per la certificazione del livello di sostenibilità energetico ambientale degli edifici in conformità al protocollo Itaca, strumento di progettazione sostenibile e di valutazione a punteggio diffuso in Italia e adottato da svariate realtà locali. Alessandro Speccher, responsabile nazionale per la formazione di Green Building Council Italia, introduce il sistema LEED[®], strumento di classificazione di origine statunitense ma diffuso e utilizzato a scala mondiale, e presenta la *Community* di soggetti pubblici e privati che nel nostro Paese da oltre tre anni lavora alla diffusione di tale sistema.

Le professioni, ossia le figure in possesso delle competenze necessarie per guidare efficacemente un processo di progettazione, costruzione ed esercizio di un edificio secondo una logica di sostenibilità, costituiscono una parte sostanziale del processo che guida alla *Sostenibilità Certificata*. Tali figure si riconoscono come nodi di una rete di relazioni, all'interno della quale le singole competenze forniscono il proprio contributo in modo integrato. Questo richiede necessariamente sia l'acquisizione di competenze specialistiche sia la strutturazione di un modello operativo basato su scambi di informazioni, strette relazioni tra i membri del gruppo di progetto e una continua crescita degli stessi. La presentazione delle figure professionali di nicchia connesse al costruire sostenibile apre alla necessità per i professionisti di mettere in discussione le pratiche consolidate della propria attività e rivolgere l'attenzione verso nuove prospettive di competenze. Il costruire sostenibile rappresenta un approccio multidisciplinare, complesso per le tematiche affrontate e gli strumenti da controllare. La relazione di Marco Carone illustra gli aspetti legali connessi con le responsabilità professionali del progettista e del costruttore di un *Green Building*, e, attraverso la trattazione di ambiti tematici non tecnici e apparentemente non vicini al concetto di costruzione sostenibile, sottolinea il concetto di interdisciplinarietà. Sintesi efficace delle relazioni della giornata si ritrova in un caso studio illustrato da Paolo Corradini, *project leader & architectural guidelines manager* di Luigi Lavazza S.p.A., cioè il progetto del nuovo centro direzionale dell'azienda torinese, per il quale si è intrapreso il cammino per il perseguimento della certificazione LEED[®].

La direzione verso una forma di coscienza ambientale nel costruito richiede una serie di passaggi obbligati e concreti, che includono una maggiore consapevolezza degli obiettivi e una crescita professionale da parte degli operatori. Le relazioni del primo incontro rivolgono l'attenzione a questo cambiamento, presentando esperienze e lanciando suggestioni.

Daniele Guglielmino

Green Building e Green Washing

Green Building and Green Washing

MARCO FILIPPI, VALERIA BRANCIFORTI

Oggi come oggi di architettura sostenibile, *green architecture* in inglese, si parla molto. Usando l'attributo "sostenibile" si esprime attenzione alle problematiche ambientali ma soprattutto si fornisce al prodotto edilizio un valore aggiunto, grazie alla crescente sensibilità di utenti, investitori, amministrazioni pubbliche.

Bisogna però porre attenzione perché l'attributo non dimostrato e abusato porta disinformazione (*green washing*). Una garanzia di sostenibilità della costruzione (*green building*) è il ricorso a protocolli nazionali o internazionali gestiti da enti terzi: essi non conducono automaticamente alla realizzazione di una buona architettura ma sostanziano il progetto edilizio, guidandolo nella scelta di strategie progettuali appropriate e di tecnologie edilizie e impiantistiche orientate alla sostenibilità.

È opinione degli Autori che per l'edificio la sostenibilità non deve essere intesa come una virtù ostentata (visibile), quanto piuttosto come una virtù nascosta (invisibile) che si manifesta in tutto il suo valore nel corso della vita del costruito.

Nowadays there's much interest in sustainable architecture, often called green architecture. The use of the adjective "sustainable" expresses attention to environmental problems but mainly gives to the built product an added value, thanks to growing sensitivity about this topic among users, investors and public governments. However it's necessary to pay attention because the adjective, if not proved and abused, lead to misinformation (green washing). The use of national and international certification protocols, managed by third entities, is a guarantee of construction sustainability (green building): they don't lead automatically to realize a good architecture but they give to the project a rich content, leading the choice of sustainable-oriented solutions for systems, technologies and design strategies.

In authors' opinion, sustainability should not be intended as an evident virtue of the building but rather as a hidden virtue that expresses all its value during the building life.

*Marco Filippi, ingegnere, professore ordinario presso il Politecnico di Torino, coordinatore del dottorato di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito.
marco.filippi@polito.it*

*Valeria Branciforti, architetto, dottorando in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito presso il Politecnico di Torino.
valeria.branciforti@polito.it*

1. Introduzione

«Tutti parlano di sostenibilità, ma nessuno la conosce»¹.

Il concetto della *sostenibilità* è oggi richiamato in ogni settore dell'economia, della sociologia, dell'architettura e dell'ingegneria tanto frequentemente da risultare talvolta svuotato di contenuti. Esso appare uno slogan di sicuro impatto sia per la crescente sensibilità degli amministratori pubblici e degli utenti sia per l'esistenza di obblighi normativi cui ottemperare; l'attributo *green* fornisce un valore aggiunto ad un qualunque prodotto, ad un servizio o ad un'idea.

Tale comunicazione risulta valida anche nel settore delle costruzioni dove il termine *sostenibilità*, spesso associato a termini come *fonti rinnovabili*, *bioedilizia* o *risparmio energetico*, risulta abusato e dove le soluzioni tecnologiche cui tale concetto rimanda divengono, di per sé stesse, manifesti dell'architettura sostenibile.

A&RT

Di non pochi edifici si dichiara la sostenibilità a fini di immagine e commerciali, senza peraltro darne alcuna dimostrazione e producendo disinformazione (*green washing*) al solo scopo di presentare un'immagine pubblica di coscienza ambientale.

Occorre porre molta attenzione nel valutare se alle dichiarazioni di intenti corrisponde o meno una concreta realtà.

Affinché un edificio sia sostenibile (e già su tale definizione si fanno strada diverse interpretazioni), il fatto che esso sia stato progettato secondo certi principi è condizione necessaria, ma non sufficiente. Concorrono infatti al raggiungimento di un determinato livello di sostenibilità, oltre alle strategie progettuali adottate, la qualità dei materiali, la perizia nella realizzazione, un'attenta manutenzione ordinaria e straordinaria ed una gestione responsabile.

È sempre necessario indagare nel dettaglio i contenuti di ciò che viene presentato come sostenibile, verificando che l'intervento edilizio non consti soltanto di strategie e soluzioni dichiarate sostenibili, ma raggiunga, grazie all'interazione di numerosi elementi, il rango e le prestazioni certificate di un vero e proprio *green building*.

Proprio nell'intento di correttamente valutare e quantificare il livello di sostenibilità di una costruzione, negli ultimi anni sono stati creati numerosi *protocolli di certificazione*. Si tratta di elenchi di requisiti, attinenti a diversi aspetti del processo edilizio (scelta del sito, progettazione, costruzione, esercizio) e a diversi componenti dell'edificio (involucro, impianti, finiture), ai quali viene singolarmente attribuito un punteggio da parte di un soggetto terzo rispetto al committente e agli attori del processo. L'edificio ottiene un determinato livello di certificazione in funzione del punteggio raggiunto.

Prima della rivoluzione industriale le costruzioni erano gestite, sia nella fase della progettazione che in quella della costruzione, da un unico architetto-ingegnere e l'opera realizzata era costituita da un unico sistema completo di impianti spesso integrati negli elementi architettonici. La sostenibilità non era l'obiettivo, eppure molti edifici antichi mostrano di aver raggiunto una ammirevole combinazione di longevità e sostenibilità.

Nel XIX secolo, con lo sviluppo tecnologico, le discipline ingegneristiche si separarono dall'architettura ed ebbero una loro specifica evoluzione; l'edificio divenne sempre più complesso e la progettazione delle strutture e degli impianti divenne ancillare rispetto alla progettazione architettonica. Questa situazione portò nel successivo secolo XX a progettare e costruire *edifici contro natura*, cioè edifici che si basano su strutture complesse e che, per soddisfare le esigenze degli occupanti, utilizzano impianti sovradimensionati, divoratori di risorse per la loro costruzione e manutenzione e assai energivori in fase di esercizio.

Vige e vige tuttora un approccio alla progettazione che coinvolge i progettisti di impianti troppo tardi, quando le

scelte architettoniche sono già state fatte, impedendo così una corretta analisi preventiva del comportamento dell'edificio e una efficace integrazione fra gli elementi architettonici e gli impianti.

Oggi, considerato che il concetto di sostenibilità è divenuto centrale per lo sviluppo di una prassi architettonica e urbanistica adeguata al futuro, una efficace interpretazione delle tematiche ambientali comporta la convergenza su obiettivi comuni di tutte le discipline interessate. L'approccio olistico e interdisciplinare della progettazione integrata è l'unico che consente di razionalizzare tutti gli aspetti del progetto, combinando metodologie tradizionali e innovative e tenendo in considerazione tutti gli elementi, quali il comfort degli utenti, il rispetto dei luoghi, la gestione dell'acqua e dell'energia e il controllo dei costi. In un'ottica di sostenibilità committenti, progettisti e costruttori stanno imparando a guardare oltre la suggestiva e seducente immagine architettonica e a rendersi consapevoli del fatto che la effettiva sostenibilità dei progetti e dei processi costruttivi passa attraverso la cooperazione delle diverse competenze e la puntuale verifica delle prestazioni ottenibili e ottenute.

2. Nascita e sviluppo del concetto di edificio sostenibile

Il concetto di sostenibilità è stato esteso al settore delle costruzioni solo recentemente, negli anni '90 del secolo scorso.

Esso trae origine dall'ampio dibattito sul tema dello *sviluppo sostenibile* che, nato negli anni '60 negli Stati Uniti, ha visto nei decenni seguenti una notevole evoluzione, contaminando diverse discipline, diffondendosi in vari paesi, alimentando nuove teorie ed arrivando ad influenzare alcuni dei più importanti documenti di sviluppo e di accordo internazionale, che ne conservano oggi eredità in alcuni punti cardine.

È comunemente riconosciuta come pietra miliare di quello che sarà poi il *Movimento Ambientalista*, il libro *Silent Spring*, uscito nel 1962 ad opera di Rachel Carson. L'autrice statunitense, biologa marina da sempre interessata agli ecosistemi ed al loro funzionamento, espose in tale volume i risultati di alcune ricerche che infiammarono il dibattito dell'epoca. Ella sosteneva che i pesticidi, ed in particolare il DDT, se da un lato costituivano un progresso della scienza e uno strumento di sviluppo dell'agricoltura, avevano per contro, una volta entrati nella catena alimentare, effetti nocivi diretti su alcune specie animali che si nutrono di piante ed indiretti su altre specie, quali ad esempio l'uomo, a causa dell'inquinamento di terreni e falde acquifere, e gli uccelli che si nutrono di insetti. Pronosticando le dimensioni più tragiche che il fenomeno avrebbe potuto assumere, la Carson arrivava a descrivere una città americana senza nome, in cui tutto tace a primavera a causa dell'estinzione di pesci, fiori e uccelli².

Nonostante la feroce battaglia che l'industria chimica intraprese in propria difesa e le pubblicazioni del

momento volte a screditare l'autrice, la sua solida preparazione e la fondatezza delle tesi esposte portarono il governo statunitense, allora guidato da John F. Kennedy, a considerare seriamente quanto asserito ed attuare norme e controlli più severi riguardo l'utilizzo di tali sostanze.

L'eredità più importante lasciata dall'opera fu soprattutto una nuova e diffusa consapevolezza: la natura non è indifferente agli interventi umani ed è dunque necessaria una mediazione tra le possibilità date dal progresso e la necessità di limitarne l'utilizzo poiché, come affermò la stessa autrice in un documentario: «[...] l'atteggiamento dell'uomo nei confronti della natura è oggi particolarmente importante perché abbiamo acquisito il potere di alterare e distruggere la natura. Ma l'uomo è parte della natura e la sua guerra contro la natura è una guerra contro se stesso. Siamo messi alla prova, come il genere umano non lo era mai stato prima, per provare la nostra maturità e la nostra padronanza, non della natura, ma di noi stessi»³.

Durante gli anni '70 alcuni eventi che avvennero in Europa, ma che ebbero risonanza internazionale, confermarono l'attenzione dell'opinione pubblica per il tema, che venne infatti accolto anche nei documenti ufficiali, nelle convenzioni e negli accordi internazionali, divenendo principio cui tutti gli stati aderenti dovevano attenersi ed ispirarsi per elaborare modelli di sviluppo sostenibile in grado di conciliare crescita economica, tutela dell'ambiente e rispetto sociale.

Nel 1972 i temi dello sviluppo sostenibile e dell'inquinamento furono affrontati per la prima volta a livello internazionale durante la Conferenza dell'ONU sull'Ambiente Umano, nota come *Conferenza di Stoccolma*. Nei principi e nelle raccomandazioni scaturite da quell'evento, connotati da aspetti di eguaglianza sociale, si sancirono la nascita dell'U.N.E.P. *United Nations Environment Programme* (Programma Ambientale delle Nazioni Unite), l'importanza della tutela dell'ambiente come elemento strategico dello sviluppo di ogni stato, da includere nelle azioni programmatiche e politiche, la necessità di trattare questi temi a livello globale, sia per un'equa distribuzione delle risorse sia per coordinare le azioni in ambiti di ambigua giurisdizione, quali i mari o lo spazio atmosferico, la necessità di proteggere e razionalizzare le risorse a vantaggio delle generazioni future.

Il preambolo della Dichiarazione di Stoccolma contiene concetti vicini a quelli già espressi da Rachel Carson: «[...] L'uomo è al tempo stesso creatura e artefice del suo ambiente, che gli assicura la sussistenza fisica e gli offre la possibilità di uno sviluppo intellettuale, morale, sociale e spirituale. Nella lunga e laboriosa evoluzione della razza umana sulla terra, è arrivato il momento in cui, attraverso il rapido sviluppo della scienza e della tecnologia l'uomo ha acquisito la capacità di trasformare il suo ambiente in innumerevoli modi e in misura senza precedenti. I due

elementi del suo ambiente, l'elemento naturale e quello da lui stesso creato, sono essenziali al suo benessere e al pieno godimento dei suoi fondamentali diritti, ivi compreso il diritto alla vita»⁴.

Nello stesso anno venne pubblicato il Rapporto del *Club di Roma* dal titolo *The Limits to Growth*, tradotto impropriamente in italiano con *I limiti dello sviluppo*⁵. L'associazione non governativa, fondata fra gli altri dall'imprenditore italiano Aurelio Peccei nel 1968, riuniva scienziati, economisti, industriali e capi di stato dei cinque continenti, con lo scopo di analizzare i cambiamenti della società contemporanea. Lo studio, commissionato al Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston, simulò vari scenari di sviluppo futuro che si sarebbero verificati proseguendo i tassi di crescita dell'epoca. Ne emerse che, se non si fossero modificati i ritmi di crescita demografica, industriale e di sfruttamento di risorse, gli effetti causati avrebbero portato a raggiungere i limiti dello sviluppo del pianeta, mettendo in difficoltà la sopravvivenza della stessa specie umana.

Nel 1973 si presentò la prima crisi petrolifera, che contribuì ad accentuare l'importanza di un ripensamento dei modelli di sviluppo in atto ed in particolare della dipendenza dal petrolio e della conseguente necessità di diversificare le fonti energetiche utilizzate. In risposta alle inquietudini suscitate dalla crisi petrolifera qualche pioniere idealista propose, soprattutto nei settori delle abitazioni e delle piccole strutture educative e culturali, delle alternative ecologiche. Il legno, materiale leggero e facile da lavorare era presente nella maggior parte di questi progetti, ma furono anche realizzate costruzioni in terra e facciate e tetti vegetalizzati. Profeta dell'architettura "low-tech", o per meglio dire "no-tech", fu Paolo Soleri, allievo di Frank Lloyd Wright, che sperimentò dal vero, ad Arcosanti (Arizona), una nuova forma di architettura ecologica.

Tali circostanze gettarono le basi per le tappe successive che portarono durante gli anni '80 ad una evoluzione del pensiero basata sulla prevenzione del danno: constatata la finitezza delle risorse e l'impossibilità di proseguire secondo il modello di sviluppo e di crescita fino ad allora adottato, si cercarono di attuare, a livello mondiale, strategie preventive per la salvaguardia delle risorse, specie energetiche, e per fare sì che le possibilità di crescita fossero garantite anche nel futuro.

Nel 1983 venne creata all'interno delle Nazioni Unite la *Commissione sullo Sviluppo e l'Ambiente* (*World Commission on Environment and Development*) grazie al lavoro della quale, sotto la presidenza della norvegese Gro Harlem Brundtland, nel 1987 fu pubblicato il volume dal titolo *Our Common Future* (*Il futuro di tutti noi*) meglio noto come *Rapporto Brundtland*. Nel testo è contenuta la definizione che ancora oggi viene comunemente utilizzata di *sviluppo sostenibile*: «lo sviluppo che è in grado di soddisfare i bisogni della generazione presente, senza compromettere la

A&RT

possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri⁶, mirando cioè a coniugare benessere e crescita economica trans generazionali con rispetto dell'ambiente. Ulteriori appuntamenti ebbero luogo negli anni '90, durante i quali vennero sanciti altri principi fondamentali della legislazione internazionale in tema di tutela dell'ambiente. Si ricordano la *Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo sviluppo* di Rio de Janeiro del 1992 ed il *Protocollo di Kyoto* del 1997 sulla limitazione delle emissioni di gas ad effetto serra.

È negli anni '90 che il concetto di sostenibilità viene applicato alle costruzioni, riconoscendo il peso del settore edilizio tanto in termini di domanda di energia (consumi per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, energia elettrica ecc.) e conseguente inquinamento, quanto in termini di uso dell'energia e impatto sull'ambiente durante il suo intero ciclo di vita (realizzazione, trasporto, smaltimento).

Nel giugno 1996, durante la conferenza "Habitat II" (Second United Nations Conference on Human Settlements) tenutasi a Istanbul, vennero definiti i termini per l'applicazione del concetto di sviluppo sostenibile nel settore delle costruzioni. Parallelamente, la copertura mediatica dei summit internazionali e gli scandali legati alla pericolosità di alcuni materiali da costruzione, come l'amianto, suscitarono nell'opinione pubblica un interesse crescente nei confronti della conservazione dell'ambiente naturale e la realizzazione di edifici sani e confortevoli.

Rispondendo a queste sollecitazioni culturali, le filiere professionali e il settore edilizio, nelle diverse nazioni europee, cominciarono a prendere in considerazione gli aspetti ecologici e negli Stati Uniti l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) introdusse il concetto di *Green Building*.

In poco tempo il termine è diventato simbolo universalmente adottato per identificare una *costruzione sostenibile*, cioè una costruzione che viene progettata, costruita e gestita (durante tutto il suo ciclo di vita) secondo procedure volte alla riduzione dell'impatto sull'ambiente naturale (contenimento dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti). Vengono coinvolti in questo ragionamento la scelta del sito in cui si costruisce, le strategie progettuali, le modalità di estrazione e produzione dei materiali da costruzione, il trasporto degli stessi sul luogo del cantiere, le tecniche di costruzione, le modalità di uso e manutenzione del costruito, fino alla dismissione finale ed al riciclaggio dei materiali.

Successivamente sono stati inclusi elementi di attenzione relativi alla qualità dell'ambiente interno e nel 2006 l'ASHRAE individua cinque criteri per realizzare un *Green Building*:

1) rendere minimi i consumi di risorse naturali mediante l'utilizzo più efficiente delle risorse non rinnovabili (terra, acqua e materiali da costruzione) e lo sfruttamento delle risorse rinnovabili di energia, in modo da ottenere un consumo netto di energia pari a zero;

- 2) rendere minime le emissioni che impattano negativamente sugli ambienti confinati in cui viviamo e sull'atmosfera del pianeta, in particolar modo quelle correlate alla qualità dell'aria interna, ai gas serra, al riscaldamento globale, al particolato e alle piogge acide;
- 3) rendere minimo lo smaltimento di rifiuti solidi e di effluenti liquidi, compresi quelli provenienti da demolizioni e da rifiuti, acque di scarico e acque pluviali, e ridurre la necessità delle infrastrutture necessarie per la loro rimozione;
- 4) rendere minimi gli impatti negativi sugli ecosistemi locali;
- 5) ottenere la massima qualità degli ambienti confinati in termini di qualità dell'aria, condizioni termoigrometriche, illuminazione, acustica e percezione visiva, in modo da fornire agli occupanti condizioni di comfort dal punto di vista fisiologico e psicologico.⁷

In anni recenti la Comunità Europea ha prodotto specifiche norme sulla costruzione sostenibile quali la norma *EN 15643-1: Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework* (la cui versione italiana è la norma *UNI EN 15643-1* pubblicata nel 2010) e la norma *CEN EN 15643-2: Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance* (la cui versione italiana è la norma *UNI EN 15643-2* pubblicata nel 2011). L'insieme delle norme sarà completato dalla Parte 3 per la valutazione della prestazione sociale e dalla Parte 4 relativa alla prestazione economica.

3. Sostenibilità "visibile" e "invisibile"

Nell'ultimo decennio alcune tecnologie e tecniche costruttive hanno assunto un peso maggiore di altre nell'influenzare il giudizio riguardante la sostenibilità di una costruzione edilizia. Grazie al decisivo contributo delle riviste di architettura, si è configurato un immaginario dell'*architettura sostenibile* piuttosto condiviso, caratterizzato da elementi che evocano un armonioso rapporto tra edificio ed ambiente e che si ispirano da un lato alla *bioarchitettura* e, dall'altro, all'*architettura high-tech*: estesi spazi verdi a diverse quote e vegetazione che penetra nell'edificio; materiali naturali, quali legno e pietra; ventilazione naturale per raffrescare gli ambienti nel periodo estivo; impianti per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, quali pannelli fotovoltaici, pannelli solari termici o generatori eolici; involucri edilizi trasparenti in grado di modificare le loro prestazioni energetiche e illuminotecniche al variare delle condizioni climatiche; sistemi di *building automation* in grado di supportare l'utente al variare delle condizioni interne o esterne. Uno dei tanti esempi di questo immaginario è il complesso Acros Fukuoka – Prefectural International Hall di Emilio Ambasz & Associates (1995) dove viene realizzato un connubio di aree verdi e zone urbanizzate con una vegetazione che ricopre e invade il costruito, quasi fosse una alternativa alla protezione offerta dall'involucro edilizio (Figura 1).

Un secondo esempio è l'edificio Campidoglio 2 di Mario Cucinella (2007), ideato per il concorso internazionale indetto dal Comune di Roma per il progetto della nuova sede comunale. Il progetto è caratterizzato da un percorso verde sul quale si innestano edifici con diversi orientamenti ai vari livelli presentati come "macchine bioclimatiche" (Figura 2). Il progettista afferma che l'analisi dei venti prevalenti e del percorso solare ha permesso di modellizzare la ventilazione naturale diurna e notturna, controllare l'irraggiamento estivo e favorire il soleggiamento invernale e che il sistema di climatizzazione meccanica è integrato con soluzioni di climatizzazione passiva, quali i camini di luce vetrati che, attraversando verticalmente gli edifici, svolgono la funzione di estrattori di aria calda.

Icone riconosciute dell'architettura sostenibile sono poi molte opere di protagonisti dell'architettura internazionale, quali Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers o Thomas Herzog, opere caratterizzate da grandi e spettacolari costruzioni in metallo e vetro che vogliono dimostrare che si possono risolvere i problemi connessi alla sostenibilità impiegando più tecnologia. La minimizzazione dell'impatto della costruzione sull'ambiente circostante e il contenuto uso di risorse sembrano infatti trovare espressione nella ricerca di soluzioni tecnologiche sofisticate, tecniche innovative e energie prodotte da fonti rinnovabili.

Un simbolo di questo approccio progettuale è certamente la torre della Commerzbank a Francoforte sul Meno di Norman Foster & Partners (1997) dove emergono ulteriori elementi ricorrenti dell'immaginario dell'architettura sostenibile, quali le serre e l'involucro edilizio estensivamente vetrato costituito da una doppia facciata vetrata ventilata (Figura 3).

Tale architettura fu presentata come «[...] il primo grattacielo ecologico del mondo [...] dove [...] bisognava immaginare i giardini pensili come veri e propri polmoni verdi, la cui vegetazione sarebbe divenuta talmente rigogliosa da provvedere in qualsiasi momento l'edificio di aria fresca e umida a sufficienza, anche senza impianto di condizionamento [...], un edificio che attraverso la disposizione dei suoi soli volumi si trasformava in un organismo ottimale dal punto di vista climatico ed energetico e da questo traeva la sua forza architettonica»⁸.

L'immaginario dell'architettura sostenibile sopra richiamato non solo popola i sogni di molti committenti, ma costituisce anche il riferimento culturale per molti progettisti.

Eppure sussiste il ragionevole dubbio che i progetti del tipo di quelli su citati siano davvero esempi di architettura sostenibile. Infatti essi sono il più delle volte caratterizzati dall'impiego di materiali ad elevato contenuto energetico (acciaio, vetro, alluminio) e da una elevata domanda di energia in esercizio, il cui contenimento è affidato a incerte e discutibili strategie passive. Ciò che più colpisce è il fatto che le dichiarazioni di sostenibilità di tali costruzioni raramente vengono supportate da analisi quantitative o, a

realizzazione effettuata, da risultati di gestione. Ben pochi team di progettazione dichiarano esplicitamente che le strategie adottate sono tali da garantire che la costruzione sarà in grado di soddisfare i bisogni dell'utente con il minimo consumo di risorse e con basso impatto sugli ecosistemi locali; ben pochi team di progettazione prevedono il monitoraggio post-occupazione per dimostrare la validità dei loro assunti. È inoltre assai raro trovare annotazioni sulle previsioni di comportamento degli edifici nell'intero loro ciclo di vita (fino alla demolizione) e sulle necessarie operazioni di manutenzione e sostituzione dei dispositivi tecnologici che li caratterizzano.

L'immagine architettonica e l'ostentazione della tecnologia prevalgono sull'esigenza di rendere consapevole i propri committenti e la comunità sugli effettivi risultati raggiunti e resta dunque il ragionevole dubbio che queste architetture non siano poi così sostenibili come viene dichiarato dai loro autori.

Di fronte a questa architettura sostenibile assai *visibile*, ma che lascia molti dubbi circa la sua efficacia, si è fatta strada la convinzione che sia necessario darsi delle regole per valutare oggettivamente le strategie progettuali e le scelte inerenti materiali e tecnologie, ai fini di garantire il raggiungimento di definiti livelli di sostenibilità, caratterizzati dai valori assunti da indici rappresentativi del contenimento dell'uso di risorse naturali, dell'efficienza idrica, della riduzione dei consumi energetici, dello sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, della qualità degli ambienti interni.

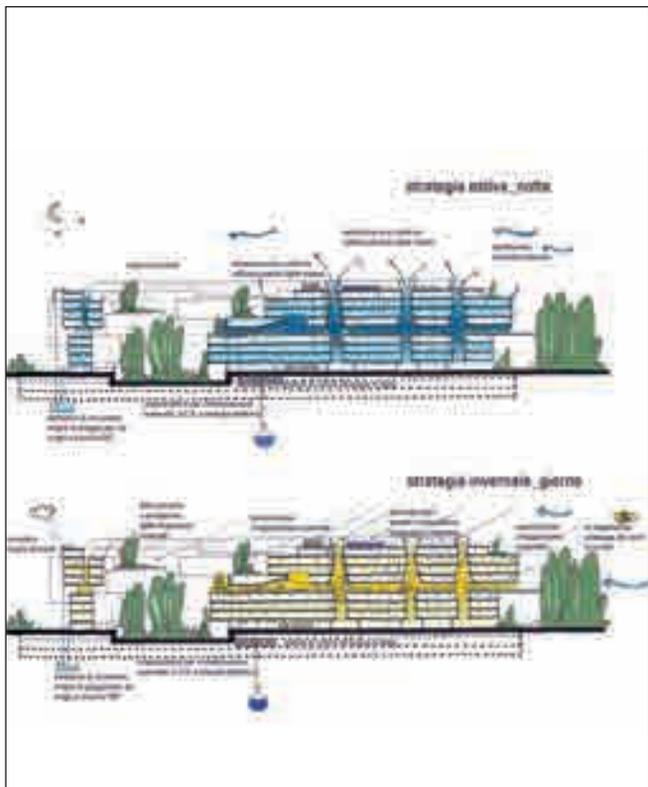
Da questa considerazione traggono origine protocolli di progettazione e certificazione del costruito, come il britannico BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) sviluppato dal BRE (British Research Establishment), lo statunitense LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) sviluppato da USGBC (United States Green Building Council) e l'italiano ITACA sviluppato da iISBE Italia, che propongono metodologie e requisiti di riferimento per valutare l'architettura sostenibile.

La valutazione della sostenibilità in base a detti protocolli parte dall'analisi del sito in cui è ubicato l'edificio (il recupero di una ex area industriale è più sostenibile che l'utilizzo di un'area vergine) e dalla considerazione sia di aspetti urbanistici, quali la densità edilizia, la vicinanza dei servizi e la disponibilità di trasporti pubblici o privati a basso impatto ambientale, sia di aspetti ambientali a scala urbana, quali l'impatto sull'ambiente circostante, il controllo delle acque meteoriche e il contenimento dell'inquinamento termico e luminoso. Per quanto riguarda le strategie progettuali e le soluzioni tecnologiche appropriate, l'attenzione viene posta sulla gestione delle acque (riduzione dei consumi di acqua e recupero delle acque meteoriche e di scarico), sulla gestione dell'energia (ottimizzazione delle prestazioni energetiche e sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili disponibili in loco), sull'uso di materiali che minimizzino l'uso delle risorse naturali (riutilizzo dei materiali



Figura 1. Emilio Ambasz & Associates, Acros Fukuoka – Prefectural International Hall, Fukuoka, Giappone 1995.

Figura 2. Mario Cucinella Architects, Campidoglio 2, Roma, Italia 2007 (esito di concorso).



da demolizioni, impiego di materiali riciclati e di materiali regionali, gestione dei rifiuti da costruzione), nonché sulla qualità dell'aria e sul comfort termico, acustico e luminoso degli ambienti confinati.

Per sfruttare tutte le potenzialità di tali protocolli e ottenere quindi il massimo livello di sostenibilità compatibile con le condizioni al contorno tecniche ed economiche poste dalla committenza, si devono sedere al tavolo della progettazione, oltre alle tradizionali figure dell'architetto, dell'ingegnere strutturista e dei progettisti di impianti (meccanici, elettrici, informatici), le figure che hanno competenze in tema di energia, materiali e modalità di gestione dell'edificio (facility management).

In particolare il consulente energetico-ambientale interviene nel progettare l'involucro edilizio in termini fisico tecnici (valutando i parametri termici dinamici dei componenti opachi e trasparenti e le loro prestazioni illuminotecniche e di protezione solare), nel valutare il contributo energetico di strategie di riscaldamento e raffrescamento passivo e di ventilazione naturale e ibrida, nel simulare il comportamento energetico dinamico, su base annuale, del sistema edificio-impianto (l'energy simulation è divenuta negli anni più recenti oggetto di una vera e propria professione) e nel consigliare le strategie di contenimento dei consumi energetici, nel verificare le condizioni di comfort, termico, acustico e visivo, e di qualità dell'aria che si avranno negli ambienti interni.

L'impiego dei protocolli di progettazione e certificazione del costruito non conduce necessariamente ad un progetto di architettura iconico in cui si ostentano le tematiche *green* e la tecnologia. Si possono avere edifici alquanto comuni in termini architettonici, come quelli presentati in Figura 4^o, che raggiungono livelli di sostenibilità BREEAM Excellent o LEED® Platinum, cioè i massimi livelli conseguibili.

La sostenibilità diviene dunque *invisibile*, ma concreta e dimostrata attraverso la valutazione quantitativa delle prestazioni ottenibili (in fase di progetto) e ottenute (in fase di esercizio). È questa sostenibilità invisibile, frutto di una progettazione di qualità certificata da enti terzi, la sostenibilità che i team di progettazione devono perseguire.

È evidente che nulla vieta di realizzare una architettura di qualità, ma tale architettura di qualità deve integrarsi con un corpus di strategie e soluzioni progettuali di sicuro successo in termini di sostenibilità.

La sostenibilità invisibile, certificata dai citati protocolli, comporta un nuovo modo di progettare, costruire, gestire e richiede più evoluti strumenti progettuali.

Il committente è chiamato a dichiarare le esigenze che intende soddisfare, gli obiettivi di qualità della costruzione che intende perseguire e quindi il livello di sostenibilità che intende ottenere in base a un determinato protocollo, mentre il team di progettazione deve avvalersi del contributo di una pluralità di competenze disciplinari che operano con un approccio progettuale integrato.

Le Università e gli Ordini Professionali (Architetti e Ingegneri) dovrebbero riflettere sull'opportunità di formare sia competenze specialistiche ora non presenti nel panorama professionale, come ad esempio il consulente energetico-ambientale, sia figure professionali in grado di proporre strategie progettuali e soluzioni tecniche nel contesto di una visione olistica del progetto di architettura. Molto importante, in una logica di sostenibilità certificata, è poi il coinvolgimento del costruttore che è chiamato a opportunamente programmare l'organizzazione del cantiere e a coordinare le lavorazioni formando le maestranze, producendo una specifica documentazione, informando i subappaltatori e controllando con ispezioni periodiche le modalità di posa dei materiali prescritti. Per garantire il committente sui risultati del processo di progettazione e costruzione i protocolli prevedono l'entrata in campo di soggetti terzi che hanno il compito di guidare, rivedere e sovraintendere al completamento delle attività finalizzate a verificare che il sistema edificio-impianti funzioni nel rispetto delle esigenze del committente, dei requisiti di progetto e dei patti contrattuali, mantenendo le promesse di riduzione dei consumi energetici e dei costi d'esercizio. La mancata coerenza tra le indicazioni previste a progetto e la reale prestazione dei sistemi tecnologici a servizio dell'edificio può costituire un significativo e difficilmente prevedibile extracosto di esercizio, soprattutto per quanto riguarda i costi connessi ai consumi energetici e quelli connessi alle criticità di gestione dei sistemi impiantistici.



Figura 3. Norman Foster & Partners, Commerzbank Headquarter, Francoforte, Germania 1997.

Figura 4. Esempi di sostenibilità invisibile certificata BREEAM e LEED.



Note

- ¹ Karl-Henrik Robert, fondatore dell'organizzazione no profit *The Natural Step*, impegnata nell'educazione, la consulenza e la ricerca per lo sviluppo sostenibile.
- ² R. Carson, *Silent Spring*, Houghton Mifflin, Boston 1962.
- ³ Intervista a Rachel Carson riportata dal sito <http://radiogreenearth.org/blog/?p=3077>, consultato in aprile 2011.
- ⁴ *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*, United Nations, Stoccolma 1972.
- ⁵ D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens III, *The Limits to Growth*, Universe Books, New York 1972. Traduzione italiana: *I limiti dello sviluppo*, Mondadori, Milano 1972.
- ⁶ World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford Press University, New York 1987.
- ⁷ *ASHRAE Green Guide, The Design, Construction and Operation of Sustainable Buildings*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2006, Atlanta (USA).
- ⁸ M. Cuandra, *Sede centrale di una banca a Francoforte*, in «Domus», n. 798, novembre 1997, pp. 20-26.
- ⁹ Informazioni tratte dai siti <http://www.usgbc.org/> e <http://www.breeam.org/>.

ESIT: il processo di certificazione nazionale Protocollo Itaca

ESIT: the Italian National certification process Protocollo Itaca

ANDREA MORO

Andrea Moro, architetto, libero professionista, presidente iiSBE Italia, chapter nazionale dell'iiSBE (international initiative for a Sustainable Built Environment). andrea.moro@iisbeitalia.org

ESIT è l'iniziativa che avvia il processo di certificazione nazionale Protocollo Itaca, promossa, in accordo con Itaca (Associazione Federale delle Regioni e Province Autonome Italiane), da ITC-CNR (Istituto per le tecnologie delle costruzioni del CNR) e iiSBE Italia (*International initiative for a Sustainable Built Environment*). Attraverso l'impiego di un protocollo di valutazione nazionale, di origine pubblica ma rivolto ora anche al mercato immobiliare, ESIT intende rispondere in modo articolato e puntuale all'esigenza di unificare criteri e parametri di valutazione e certificazione di sostenibilità delle costruzioni per favorire la trasformazione e l'innovazione del mercato immobiliare. ESIT intende proporsi come punto di riferimento e di raccordo nazionale per tutti gli attori della complessa filiera che va dalla componentistica alla cantieristica, dalle attività industriali a quelle gestionali, commerciali e finanziarie.

ESIT is the initiative that starts up the national certification process based on Protocollo Itaca. ESIT is promoted, by means of a specific agreement with Itaca (Federal Association of the Italian Regions), by ITC-CNR (Building Technology Institute of the National Research Council) and iiSBE Italia (national chapter of the international initiative for a Sustainable Built Environment). The main objective of ESIT is to harmonize the assessment and certification criteria at national level, in the way to support the transformation and innovation of real estate market. ESIT will act as reference point for all the stakeholders of the building sector.

Una delle prime nazioni europee a sviluppare un sistema nazionale di riferimento per la valutazione del livello di sostenibilità delle costruzioni è stata l'Italia, attraverso un percorso avviato nel 2000 nell'ambito del processo internazionale Green Building Challenge, che ha portato nel 2004 all'approvazione da parte della Conferenza dei Presidenti delle Regioni Italiane della prima versione del Protocollo Itaca. In questi anni versioni contestualizzate dello strumento di valutazione sono state adottate da 12 regioni e dalla provincia di Trento. Rispetto ad altri sistemi nazionali la particolarità del Protocollo Itaca è la sua origine pubblica e l'iniziale applicazione principalmente a sostegno di specifiche politiche di incentivazione dell'edilizia sostenibile residenziale (programma casa, piano casa, contratti di quartiere). In seguito, constatando la crescente attenzione ai temi ambientali da parte degli operatori di mercato e in base alle istanze da essi manifestate, si è riconosciuta la necessità di rendere pienamente accessibile il sistema di valutazione Protocollo Itaca anche a tutti i portatori di interesse privati. Il 30 marzo 2011 è stata così presentata l'iniziativa ESIT-Edilizia sostenibile Italia promossa, in accordo con Itaca (Associazione Federale delle Regioni e Province Autonome Italiane), da ITC-CNR (Istituto per le tecnologie delle costruzioni del CNR) e iiSBE Italia (*International initiative for a Sustainable Built Environment*). ESIT avvia ufficialmente la certificazione Protocollo Itaca a livello nazionale, strutturando un

sistema in grado di competere con quelli esteri di maggior prestigio quali il LEED® (USA), il BREAAAM (Gran Bretagna) o il DGNB (Germania) e di rappresentare il sistema Italia a livello internazionale. ESIT si configura come processo virtuoso di certificazione volontaria rivolto all'intero comparto dell'edilizia e delle costruzioni, il cui valore, pari a circa il 12% del PIL nazionale, è determinante per la nostra economia, per la qualità della vita, per lo sviluppo e la valorizzazione ambientale e architettonica del nostro territorio. Accanto quindi ai protocolli regionali è ora disponibile un protocollo nazionale in grado di rispondere alle esigenze di certificazione espresse dal mercato dell'edilizia.

È possibile valutare attraverso il processo di certificazione ESIT edifici di qualsiasi destinazione d'uso, non solo quelli residenziali. La costruzione viene certificata una volta realizzata, ovvero in fase di collaudo. A livello di progetto esecutivo viene rilasciato un attestato provvisorio con il livello di sostenibilità raggiunto. La valutazione può essere effettuata da un qualsiasi professionista abilitato presso il proprio ordine di riferimento o da un professionista con la qualifica "Esperto Protocollo Itaca". La documentazione prodotta viene controllata da un validatore ESIT in modo da garantire un processo di certificazione di terza parte. La validazione riguarderà sia la valutazione del progetto esecutivo sia l'esecuzione dell'opera in modo da verificarne la corrispondenza. Le attività di valutazione possono essere svolte anche da organismi di certificazione, soprattutto nel caso di edifici particolarmente complessi o di elevata superficie. Il processo di certificazione prevede l'esecuzione di visite in cantiere e la predisposizione di un dossier di costruzione contenente la documentazione tecnica e fotografica degli elementi tecnologici principali. I primi edifici sono già in fase di certificazione in diverse regioni italiane: uffici, residenze, scuole e grattacieli.

Gli strumenti di valutazione (completamente allineati al quadro legislativo nazionale, alla normativa tecnica italiana e alla certificazione energetica obbligatoria) impiegati nell'ambito del processo di certificazione ESIT sono il Protocollo Itaca nazionale 2011, per gli uffici e le residenze, e l'SBTool Italia per tutte le altre destinazioni d'uso. I 34 criteri di valutazione utilizzati per analizzare la prestazione della costruzione sono organizzati in cinque aree tematiche: qualità del sito, consumo del ridosso, carichi ambientali, qualità ambientale indoor e qualità del servizio. Al termine della valutazione d'edificio riceve un punteggio variabile tra -1 e +5. Il livello zero rappresenta la prassi costruttiva standard, il livello tre la migliore pratica corrente, il livello cinque una prestazione eccezionale. Al punteggio ottenuto in base all'applicazione del protocollo Itaca viene associato il marchio di qualità ESIT, rappresentato da una foglia cinque punte, che attesta il livello di qualità raggiunto: sufficiente, discreto, buono, molto buono, ottimo. Un punteggio superiore a quattro consente di ottenere il livello massimo del marchio ESIT ovvero la foglia aurea. Grazie alla collaudata e vasta casistica già affrontata con il Protocollo Itaca in diversi contesti del territorio nazionale, il Marchio di Qualità ESIT

rappresenterà quindi la garanzia del riconoscimento ufficiale della sostenibilità energetico ambientale.

Dato che ESIT intende essere una certificazione per l'edilizia diffusa in grado di contribuire alla trasformazione della prassi costruttiva corrente verso un livello di maggiore sostenibilità, si è ritenuto prioritario, garantendo sempre un rigore scientifico oggettivo, limitarne il costo. Ciò è reso possibile soprattutto richiedendo la verifica di indicatori di prestazione desumibili dalla documentazione tecnica tipica della prassi progettuale italiana.

Gli standard di riferimento di ESIT attribuiscono un rating che è espressione della specifica peculiarità e varietà del contesto territoriale italiano, è raccordato a livello internazionale con la SBA (*Sustainable Building Alliance*), è commisurato al grado di efficienza conseguito, declinato secondo ambiti di intervento a diversa scala. La diffusione a livello nazionale del sistema di certificazione italiano Protocollo Itaca, applicato sia nel settore pubblico sia in quello privato, è necessaria per sostenere le iniziative e le attività promosse dagli operatori del comparto dell'edilizia, rispondere alle sollecitazioni a diffondere e internazionalizzare l'eccellenza del Modello Italia presso le organizzazioni che raccordano le certificazioni nazionali, europee e mondiali, di cui ITC-CNR e iSBE Italia sono partecipanti e promotori.

Nel campo della certificazione ESIT è impegnata ad attuare una articolata *mission in progress*. L'attenzione è rivolta non solo agli edifici di nuova costruzione o oggetto di riqualificazione ma anche alle costruzioni in uso. Il tema della sostenibilità delle costruzioni esistenti è di grande importanza, dato che la maggior parte del patrimonio edilizio italiano è stata realizzata prima dell'entrata in vigore dei regolamenti in materia di risparmio energetico e quindi caratterizzata da prestazioni non adeguate che hanno portato il settore dell'edilizia residenziale a rappresentare un terzo di tutti i consumi energetici nazionali. Essendo la certificazione uno strumento in grado di supportare l'ottimizzazione delle prestazioni energetico ambientali delle costruzioni e dei patrimoni immobiliari, a tale scopo è stato sviluppato il sistema ESIT Edifici Esistenti. Quest'ultimo è già in fase di applicazione nell'ambito delle attività di controllo legate ai programmi di incentivazione regionali. Per una specifica categoria di edifici in uso di particolare importanza per il nostro Paese, ovvero le costruzioni soggette a vincoli storico culturali, è stato invece sviluppato il sistema ESIT Edifici Storici. La metodologia alla sua base consente di tenere in debita considerazione i vincoli di intervento a cui sono soggetti edifici in modo da valorizzare comunque interventi progettuali che hanno consentito un miglioramento della qualità ambientale. Infine ESIT prevede, attraverso l'applicazione del sistema URBE, la possibilità di certificare il livello di sostenibilità a scala urbana. Ciò consente di poter non solo valutare il livello di prestazione di singoli edifici ma anche quello di un intervento a scala superiore. Sono previsti indicatori ambientali, sociali, economici specifici in grado di supportare la pianificazione urbanistica, la progettazione di intervento, la sua realizzazione e il monitoraggio dell'ambiente costruito. La valutazione è

A&RT

basata su una analisi morfologica del tessuto urbano che permette di calcolare oggettivamente gli indicatori dei criteri di valutazione in termini di diversità, intensità, distribuzione, complessità ecc.

Attraverso l'impiego di un protocollo di valutazione nazionale, di origine pubblica ma rivolto ora anche al mercato immobiliare, ESIT intende rispondere in modo articolato e puntuale all'esigenza di unificare criteri e parametri di valutazione e certificazione di sostenibilità delle costruzioni per favorire la trasformazione e l'innovazione del mercato immobiliare. L'unificazione e la trasparenza di obiettivi, criteri e parametri di sostenibilità energetico ambientale sono infatti condizioni necessarie per armonizzare il mondo della costruzione e dell'edilizia con la pianificazione territoriale e infrastrutturale a diversa scala, la progettazione architettonica, la ricerca, il design e l'innovazione di materiali, componenti e sistemi, la certificazione e la gestione degli immobili e dei fondi immobiliari.

Per favorire la trasformazione e l'innovazione del mercato immobiliare secondo parametri qualitativi condivisi e univoci, ESIT intende proporsi come punto di riferimento e di raccordo nazionale per tutti gli attori della complessa filiera che va dalla componentistica alla cantieristica, dalle attività industriali a quelle gestionali, commerciali e finanziarie. In tal senso saranno condivisi gli obiettivi e le metodologie con gli attori della produzione edilizia, per armonizzare e semplificare, dare vita ad iniziative, criteri e certificazioni. Per facilitare la condivisione e la partecipazione dei portatori di interesse al sistema di certificazione ESIT, a partire dall'autunno 2011 sarà attivato l'ESIT Network che consentirà la partecipazione alle attività tecnico scientifiche attraverso la costituzione di specifici gruppi tecnici e di consultazione. Le attività del network saranno indirizzate da un comitato scientifico

formato da rappresentanti delle diverse categorie e portatori interesse interessati dal tema della certificazione delle costruzioni sostenibili.

A sostegno del sistema di certificazione e della sua diffusione sul territorio nazionale, ESIT promuove e gestisce anche attività di formazione rivolte principalmente ai professionisti, alle imprese di costruzione e ai tecnici degli enti pubblici. Il Protocollo Itaca per poter fungere da linguaggio comune, deve essere adeguatamente conosciuto da parte degli attori chiave coinvolti nel processo di realizzazione di un edificio. I corsi vengono svolti in cooperazione con gli ordini professionali, gli enti pubblici e il Kyoto Club. La frequenza delle lezioni e il superamento di un esame consente di ottenere la qualifica esperto Protocollo Itaca e impresa Protocollo Itaca. A livello nazionale è stato istituito un elenco in cui confluiscono i professionisti qualificati su tutto il territorio nazionale.

ESIT è l'occasione per avviare un processo nazionale sinergico volto a una reale trasformazione nella prassi progettuale costruttiva e a un miglioramento del livello di sostenibilità dell'ambiente costruito. Tali obiettivi sono raggiungibili unicamente attraverso un'azione di sistema promossa da tutti i portatori interesse del settore delle costruzioni. In tal senso un sistema di certificazione nazionale italiano è fondamentale per definire e condividere i più appropriati riferimenti metodologici e tecnico scientifici per il nostro Paese.



I protocolli LEED[®] per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici e la loro introduzione in Italia

Sustainability of buildings: the LEED[®] rating systems and theirs introduction in Italy

ALESSANDRO SPECCHER

LEED[®] sta diventando a livello internazionale sinonimo di sostenibilità applicata all'edilizia. Si tratta di un approccio alla sostenibilità che va ben oltre il semplice sistema di rating, l'acronimo LEED[®] viene spesso associato alla community vibrante che ruota attorno ai Green Building Council e che ha creato i protocolli. Il privato ed il pubblico che si incontrano per tutelare l'ambiente, la responsabilità socialità e la prosperità del mercato. Uno strumento articolato sia nei contenuti che nella forma, adatto ad essere utilizzato nei più svariati contesti, dai regolamenti edilizi ai bandi di gara.

Il testo presenta l'approccio metodologico utilizzato da USGBC e GBC Italia per sviluppare i propri protocolli di valutazione della sostenibilità degli edifici; un focus sui protocolli LEED[®] e nello specifico LEED[®] Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni, sia dal punto di vista dei contenuti che del processo.

LEED[®] is becoming synonymous of building sustainability at an International level. Its approach to sustainability is going over the mere rating system, the acronyms LEED[®] is often referred to the vibrant community that is moving around the Green Building Council and that develops the rating system. Private sector and public sector meet themselves in order to preserve environment, social responsibility and market prosperity. It is an articulated tool, both in the contents and in the process, that is sized to be used in various contexts, from municipal building codes to requirements for tender procedures.

This text shows the methodological approach that is followed by USGBC and GBC Italia to develop their rating systems; an overview of LEED[®] protocols and a focus on LEED[®] Italia 2009 Nuove Costruzioni.

Alessandro Speccher, ingegnere ambientale LEED[®] AP BD+C, cura le attività formative di GBC Italia. È Instructor accreditato di USGBC.

alessandro.speccher@gbcitalia.org

Introduzione: la sostenibilità e i Green Building Council

Il protocollo LEED[®], acronimo di *Leadership in Energy and Environmental Design*, è lo strumento utilizzato per misurare la sostenibilità ambientale degli edifici più diffuso nel panorama internazionale. Tale standard è presente in più di 100 paesi: 140.000.000 di metri quadrati di edifici commerciali sono già stati certificati (22.520 edifici), oltre 31.000 edifici commerciali sono invece registrati e stanno perseguendo il processo di certificazione; gli edifici residenziali di piccole dimensioni certificati o in corso di certificazione, nei soli USA, sono più di 70.000 (fonte: sito www.usgbc.org, aggiornamento 22 agosto 2011).

Tali numeri dimostrano la diffusione nel mondo del sistema LEED[®] attestando l'interesse che esso suscita nei confronti degli operatori del mercato dell'edilizia.

A scala internazionale emerge un'attenzione sempre maggiore ai temi dell'efficienza energetica e più in generale della sostenibilità, sia dal punto di

A&RT

vista pubblico sia da quello privato. Esempi evidenti si ritrovano nei contesti più diversi, all'interno delle direttive dell'Unione Europea in tema di energia e sostenibilità (Direttiva 2010/31/UE), nelle linee guida per la realizzazione degli edifici dell'Expo 2010 di Shanghai, nei moltissimi operatori immobiliari che chiedono una certificazione di sostenibilità per tutelare il proprio investimento nel tempo, nella crescente attenzione che gli utenti finali stanno ponendo alle tematiche del risparmio energetico e della sostenibilità (sia per i continui aumenti del costo dell'energia, sia per una sempre più crescente sensibilità). Uno scenario complesso ed articolato come quello che caratterizza la sostenibilità, richiede strumenti di misura altrettanto articolati e completi, che siano multidimensionali ed in grado di valorizzare le specificità dei singoli interventi. Gli strumenti che possiedono queste caratteristiche e che sono riusciti a diffondersi nel mondo si chiamano LEED[®], BREEAM e Green Star.

Pur avendo una impostazione comune nel merito, essi si differenziano nel metodo (processo di certificazione e figure professionali coinvolte) e nelle modalità di sviluppo. Sia LEED[®] che Green Star nascono all'interno di realtà fortemente legate all'innovazione e alla valorizzazione dell'eccellenza applicate alle tematiche della sostenibilità ambientale, della valorizzazione culturale e della prosperità economica; queste realtà si chiamano *Green Building Council*. Il *Green Building Council* statunitense (USGBC) è un'associazione fondata nel 1993 che segue lo sviluppo dei protocolli LEED[®], il *Green Building Council* Italia è l'associazione che ne cura la trasposizione italiana e che sviluppa specifici protocolli per il mercato italiano (ad esempio il protocollo per gli Edifici Storici, non presente in USA). Il GBC Italia, associazione no profit, autonoma, apolitica e che opera a livello nazionale, persegue un obiettivo ambizioso: *trasformare il mercato dell'edilizia promuovendo la progettazione, costruzione e gestione degli edifici sostenibili dal punto di vista ambientale, sociale, economico e della salute*. La sfida è notevole ed innovative sono le modalità con le quali la si sta affrontando. L'associazione è composta da imprese, pubbliche amministrazioni, università, enti di ricerca, organizzazioni ambientaliste e no profit, produttori di componenti e chiunque sia coinvolto all'interno della filiera dell'edilizia. Gli associati lavorano per definire gli standard (protocolli sui quali viene valutata la sostenibilità dell'intervento immobiliare) sulla base dell'approccio *Triple Bottom Line*: le tre grandi aree dell'ambiente, del mercato e della socialità si intersecano per definire come "sostenibile" ciò che è tollerabile, attuabile ed equo, in modo da generare tutela dell'ambiente, incremento della coscienza sociale e profitto per il mercato. Solo lavorando contemporaneamente su queste tre grandi aree è possibile affrontare in una logica di sistema, e con uno schema ben chiaro, un problema che altrimenti sarebbe complesso nel solo approccio.

Fornire una *vision*, favorire l'innovazione, facilitare la nascita di reti, promuovere l'animazione su scala nazionale, gestire i rapporti con la pubblica amministrazione, attivare relazioni di sistema, promuovere la cultura e le buone pratiche della sostenibilità in edilizia, sviluppare strumenti adeguati per valutare la sostenibilità degli edifici, sono tutte attività proprie di GBC Italia. L'associazione non offre servizi professionali per evitare il conflitto di interesse, essi sono offerti dagli associati; GBC Italia coordina e anima questa community che ora conta più di 550 membri (in continua crescita).

1. I protocolli LEED[®]

I protocolli LEED[®] sono frutto dell'approccio *Triple Bottom Line*: essi misurano l'impronta dell'edificio sull'ambiente, danno chiari riferimenti culturali e tecnici per gli utilizzatori, i progettisti ed i costruttori, forniscono i criteri per poter valutare la bontà di un componente o di un progetto.

Nello specifico, vista la variabilità tipologica degli edifici presenti sul territorio, questi concetti vengono declinati specificatamente per le diverse destinazioni d'uso; vi sono dunque molteplici protocolli, ognuno dei quali è ottimizzato per valutare la sostenibilità di una specifica tipologia:

- nuove costruzioni e grandi ristrutturazioni (LEED[®] NC);
- interni commerciali (LEED[®] CI);
- scuole (LEED[®] NC Scuole);
- involucri (LEED[®] CS);
- edifici esistenti (LEED[®] EBO&M);
- residenziale di piccole dimensioni (LEED[®] for Homes).

GBC Italia, dopo aver curato la contestualizzazione di LEED[®] NC, School ed Homes per il mercato italiano sta lavorando alla contestualizzazione di tutta la famiglia di prodotti.

Lo schema alla base dell'organizzazione dei contenuti, analogo per tutti i protocolli secondo il concetto di coerenza che li caratterizza, si basa sulle seguenti macro categorie. Ogni categoria è composta di crediti che affrontano nel dettaglio tematiche specifiche:

- *sostenibilità del sito*: i crediti di questa categoria si occupano di limitare l'impatto generato dalle attività di costruzione sull'ambiente naturale rispettando gli equilibri dell'ecosistema. Essi promuovono e premiano la riduzione delle emissioni associate ai trasporti, la protezione degli ecosistemi locali, la gestione del deflusso delle acque meteoriche, la riduzione dell'effetto isola di calore e la riduzione dell'inquinamento luminoso;
- *gestione della risorsa idrica*: in questa categoria si affrontano le tematiche ambientali legate all'uso, alla gestione e allo smaltimento delle acque indoor e outdoor, monitorandone i flussi e perseguendo l'obiettivo di massimizzare l'efficienza dei sistemi idrici e ridurre il consumo di acqua potabile per tutte

quelle funzioni dove essa non è strettamente necessaria;

- *energia ed atmosfera*: la categoria Energia & Atmosfera rappresenta in termini percentuali il maggior numero di punti acquisibili con il minor numero di crediti. L'approccio olistico della trattazione enfatizza sia aspetti di progettazione che di costruzione e gestione. Particolare attenzione viene data all'analisi dei consumi energetici nella loro totalità: inverno, estate, ACS, illuminazione e processo concorrono assieme nel bilancio annuale a definire quelli che saranno i consumi complessivi che un domani vedrà monetizzati nella bolletta. Un processo di gestione della qualità durante la fase di progettazione e costruzione gestito da un professionista terzo, la *Commissioning authority*, assicura che ciò che verrà progettato corrisponda a ciò che viene richiesto della committenza e che ciò che viene realizzato corrisponda a ciò che era stato progettato. Premiare le pratiche di misura dei flussi di energia, da quello positivo prodotto da fonti rinnovabili a quello negativo dovuto ai diversi consumi, calano la realtà della progettazione all'interno di quell'ambito che è tipico della gestione e manutenzione, facendo da ponte tra il protocollo NC ed il protocollo LEED® per gli Edifici Esistenti;
- *materiali e risorse*: la categoria tratta le tematiche ambientali legate alla scelta dei materiali per la costruzione, alla riduzione e allo smaltimento dei rifiuti sia in fase di costruzione che demolizione. I crediti incentivano l'impiego di materiali rapidamente rinnovabili, il riutilizzo e il riciclo, al fine di ridurre i flussi per lo smaltimento dei rifiuti in discarica e inceneritori. Essi cercano di ridurre la richiesta di materiali vergini e favorire l'utilizzo di materiali regionali per ridurre l'impatto legato ai trasporti;
- *qualità dell'ambiente indoor*: questi crediti affrontano temi quali la salubrità, la sicurezza e il comfort. I crediti fanno riferimento ad una ventilazione corretta ed efficace, al comfort termo-igrometrico, all'illuminazione naturale ed alle viste sull'esterno, nonché al controllo delle sostanze contaminanti presenti nell'aria;
- *innovazione nella progettazione*: la categoria ha come obiettivo l'identificazione degli aspetti progettuali che si distinguono per caratteristiche di innovazione delle pratiche di sostenibilità applicate alla progettazione e realizzazione degli edifici. Le tecniche e le soluzioni per la progettazione sostenibile sono in costante miglioramento ed evoluzione: nuove tecnologie sono inserite continuamente nel mercato e gli aggiornamenti della ricerca scientifica influenzano le strategie di progettazione degli edifici. Questa sezione permette di misurare e quantificare tutto questo;
- *priorità regionale*: questa categoria dà la possibilità di conseguire dei punteggi ulteriori se il progetto persegue quei crediti che sono stati identificati come prioritari per quel particolare luogo.

Ad ogni credito è associato un punteggio; la somma dei punteggi dei crediti documentati e verificati determina il livello di certificazione raggiunto, in ordine crescente: certificato - 40 punti, argento - 50 punti, oro - 60 punti, platino - 80 punti. Nella Figura 4 si possono vedere categorie e crediti del protocollo LEED® Italia Nuove Costruzioni.

Una caratteristica dei metodi a punteggio è la loro estrema flessibilità. LEED® gestisce questa flessibilità identificando per ogni categoria aspetti inderogabili chiamati prerequisiti (crediti obbligatori che non danno punteggio ma che senza il soddisfacimento dei quali non è possibile ottenere la certificazione) e aspetti facoltativi chiamati crediti. Ad ogni credito è associato un punteggio; la loro somma dà 110. La somma dei punteggi dei crediti documentati e che hanno passato positivamente la verifica terza determina il livello di certificazione raggiunto; sarà la committenza o il team di progetto ad enfatizzare maggiormente quei crediti che, in considerazione del contesto in cui l'edificio viene realizzato/recuperato, permettono di dare maggior risalto a quelle scelte progettuali che ottimizzano ritorno dell'investimento e sostenibilità dell'approccio. Mano a mano che il livello di certificazione che si intende raggiungere diventa più ambizioso (certificato - argento - oro - platino), questa variabilità diminuisce in quanto tanto più sostenibile dovrà essere l'edificio, tanti più saranno i crediti da perseguire.

Questo concetto è di estrema importanza in quanto permette di definire meglio che cosa si intende per edificio sostenibile. Spesso si confonde l'efficienza energetica con la sostenibilità nonostante il primo sia solo un tema del secondo. La sostenibilità è sicuramente legata alla gestione dell'energia ma anche al contesto geo-morfologico in cui stiamo operando (ad esempio un clima arido piuttosto che uno estremamente freddo), alla destinazione d'uso (un ospedale piuttosto che un edificio commerciale), al contesto socio politico di un determinato momento storico (ora si parla di certificazione energetica, "ieri" l'argomento non era trattato ma "domani", quando verrà dato per acquisito sicuramente si darà più enfasi ad aspetti quali il consumo idrico o il *Life Cycle Assessment* dell'edificio, per esempio).

Il protocollo LEED® permette di tenere conto di tutte queste variabili:

- definendo gli aspetti che devono essere perseguiti obbligatoriamente e che definiscono le caratteristiche minime di un edificio sostenibile certificato LEED® (nel caso di una nuova costruzione/grande ristrutturazione: gestione del cantiere, risparmio idrico minimo, risparmio energetico minimo, gestione della qualità in fase di progetto e costruzione, gestione dei fluidi refrigeranti, gestione dei rifiuti, gestione della qualità indoor minima);
- dando la possibilità di definire e paragonare la sostenibilità

A&RT

di edifici situati in contesti territoriali anche molto diversi. Ad esempio due edifici, il primo realizzato in contesto montano, il secondo in un'isola del mediterraneo, entrambi ottengono il livello di certificazione argento; le strategie devono essere completamente differenti e volte a minimizzare l'impatto ambientale su quegli aspetti che sono critici per quel particolare contesto geo-morfologico e climatico (risparmio idrico in una regione arida, tutela dal freddo in contesto alpino, tutela dal caldo in contesto costiero, qualità dell'ambiente interno per edifici scolastici o ospedali, valorizzazione delle risorse materiali e culturali locali ecc.). Quando vi sono buona progettazione e realizzazione è possibile con il protocollo comparare strategie totalmente differenti grazie alla sua natura multi dimensionale (entrambi gli edifici hanno raggiunto il medesimo livello di certificazione), grazie alle categorie "priorità regionale" e "innovazione" si possono valorizzare tutti

quegli aspetti che hanno tanto più senso se inseriti nel contesto corretto e che vanno ben oltre il rispetto della cogenza normativa (ad esempio il consumo di energia annuale comprendente come minimo illuminazione, riscaldamento, condizionamento, produzione di ACS e consumi di processo).

2. Il processo di certificazione

Punto di forza del sistema LEED® è il processo di certificazione, esso prevede che vi sia un organismo terzo (*Green Building Certification Institute – GBCI*) quale ente verificatore e certificatore di quanto dichiarato da parte dei progettisti e realizzato poi in cantiere. Per evitare il conflitto di interesse, USGBC, GBC Italia e GBCI hanno ruoli completamente differenti:

- GBC Italia e USGBC hanno funzione di sviluppo del protocollo e della community e di formazione dei professionisti;
- l'ente certificatore GBCI, ha lo scopo di certificare gli

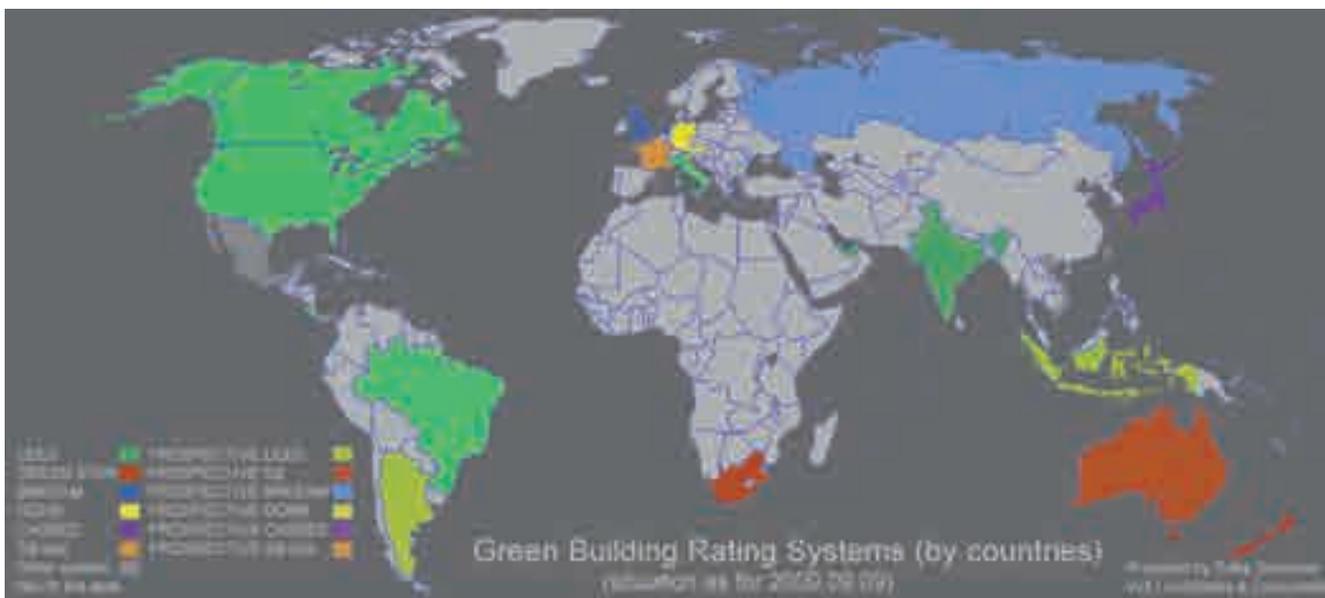
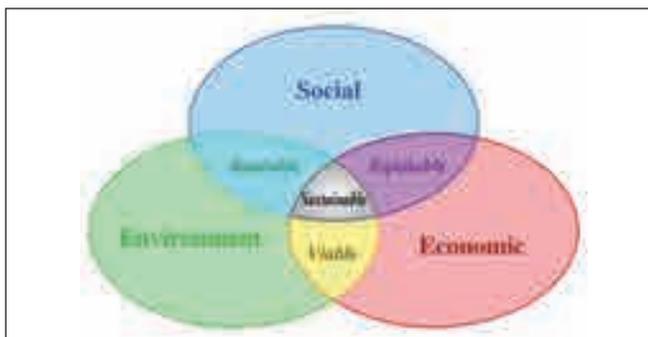


Figura 1. Distribuzione dei principali protocolli adottati nei vari paesi del mondo.

Figura 2. L'approccio Triple Bottom Line: coniato da John Elkington, definisce la sostenibilità come l'intersezione delle tre macroaree ambiente, economia, sociale.

Figura 3. LEED®: una famiglia di protocolli per diverse destinazioni d'uso.



LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni - Lista di verifica			
SI	7	NO	Performance del Sito 20
SI	Presreq. 1		Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere Obbligatorio
	Credito 1		Selezione del sito 4
	Credito 2		Conservazione edile e riutilizzo di edifici 4
	Credito 3		Risparmio e riqualificazione dei siti contaminati 2
	Credito 4.1		Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici 4
	Credito 4.2		Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi 4
	Credito 4.3		Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo 4
	Credito 4.4		Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio 2
	Credito 5.1		Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat 1
	Credito 5.2		Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi verdi 1
	Credito 6.1		Acque meteoriche: raccolta delle acque 4
	Credito 6.2		Acque meteoriche: controllo della qualità 2
	Credito 7.1		Effetti locali di calore: superfici esterne 2
	Credito 7.2		Effetti locali di calore: coperture 1
	Credito 8		Riduzione dell'inquinamento luminoso 4
SI	7	NO	Conservazione dell'Acqua 10
SI	Presreq. 1		Riduzione dell'uso dell'acqua Obbligatorio
	Credito 1		Scelta efficiente delle acque e degli usi 2-4
			Riduzione dei consumi del 50% 2
			Nei bagni: un litro d'acqua possibile per i risciacqui 4
	Credito 2		Tecnologie innovative per le acque reflue 2
	Credito 3		Riduzione dell'uso dell'acqua 2-4
			Riduzione del 20% 2
			Riduzione del 30% 3
			Riduzione del 40% 4
SI	7	NO	Energia e Atmosfera 39
SI	Presreq. 1		Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio Obbligatorio
SI	Presreq. 2		Prestito energetico verde Obbligatorio
SI	Presreq. 3		Gestione di base dei fluidi refrigeranti Obbligatorio
	Credito 1		Ottimizzazione delle prestazioni energetiche 1-19
			Valore U del tetto:
			10% per Nuove costruzioni e il 7% per Ristrutturazioni 1
			12% per Nuove costruzioni e il 9% per Ristrutturazioni 2
			10% per Nuove costruzioni e il 12% per Ristrutturazioni 1
			18% per Nuove costruzioni e il 14% per Ristrutturazioni 4
			20% per Nuove costruzioni e il 16% per Ristrutturazioni 5
			22% per Nuove costruzioni e il 17% per Ristrutturazioni 6
			24% per Nuove costruzioni e il 20% per Ristrutturazioni 7
			25% per Nuove costruzioni e il 22% per Ristrutturazioni 8
			28% per Nuove costruzioni e il 24% per Ristrutturazioni 9
			30% per Nuove costruzioni e il 26% per Ristrutturazioni 10
			32% per Nuove costruzioni e il 28% per Ristrutturazioni 11
			34% per Nuove costruzioni e il 30% per Ristrutturazioni 12
			36% per Nuove costruzioni e il 32% per Ristrutturazioni 13
			38% per Nuove costruzioni e il 34% per Ristrutturazioni 14
			40% per Nuove costruzioni e il 36% per Ristrutturazioni 15
			42% per Nuove costruzioni e il 38% per Ristrutturazioni 16
			44% per Nuove costruzioni e il 40% per Ristrutturazioni 17
			46% per Nuove costruzioni e il 42% per Ristrutturazioni 18
			48% per Nuove costruzioni e il 44% per Ristrutturazioni 19
	Credito 2		Protezione in sito di energie rinnovabili 1-17
			15% di energia rinnovabile 1
			25% di energia rinnovabile 2
			35% di energia rinnovabile 3
			45% di energia rinnovabile 4
			55% di energia rinnovabile 5
			65% di energia rinnovabile 6
			75% di energia rinnovabile 7
	Credito 3		Commissioning avanzato dei sistemi energetici 2
	Credito 4		Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti 2
	Credito 5		Massima efficienza 2
	Credito 6		Energia verde 2
SI	7	NO	Materiali e Risorse 14
SI	Presreq. 1		Riciclo e stoccaggio dei materiali riciclabili Obbligatorio
	Credito 1.1		Riduzione degli edifici: mantenimento di strutture, Arca e aperture esistenti 1-3
			Riduzione del 10% 1
			Riduzione del 15% 2
			Riduzione del 20% 3
	Credito 1.2		Riduzione degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni 1
	Credito 2		Gestione dei rifiuti da costruzione 1-3
			10% di Calcestruzzo riciccolato e ricoperto 1
			10% di Cemento riciccolato e ricoperto 2
	Credito 3		Riduzione dei materiali 1-3
			Riduzione del 1% 1
			Riduzione del 10% 2
	Credito 4		Contenuto di riciclati 1-3
			10% di Calcestruzzo 1
			10% di Cemento 1
			10% di Cemento 1
	Credito 5		Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali) 1-3
			10% del materiale 1
			20% del materiale 2
	Credito 6		Materiali rapidamente rinnovabili 1
	Credito 7		Legno certificato 1
SI	7	NO	Qualità dell'ambiente interno 10
SI	Presreq. 1		Flessibilità minima per la qualità dell'aria Obbligatorio
SI	Presreq. 2		Controllo ambientale del fumo di tabacco Obbligatorio
	Credito 1		Montaggio della portata dell'aria di rinnovo 1
	Credito 2		Incremento della ventilazione 1
	Credito 3.1		Piano di gestione IAQ: Fase costruttiva 1
	Credito 3.2		Piano di Gestione IAQ: prima dell'occupazione 1
	Credito 4.1		Materiali basso emissivi: adesivi, primer, sigillanti, materiali opzionali e finiture per legno 1
	Credito 4.2		Materiali basso emissivi: pitture 1
	Credito 4.3		Materiali basso emissivi: pavimentazioni 1
	Credito 4.4		Materiali basso emissivi: prodotti in legno compositi a fibre vegetali 1
	Credito 5		Controllo della qualità dell'aria durante la costruzione 1
	Credito 6.1		Controllo e gestione degli impianti: illuminazione 1
	Credito 6.2		Controllo e gestione degli impianti: climatizzazione 1
	Credito 7.1		Coefficienti termici: progettazione 1
	Credito 7.2		Coefficienti termici: verifica 1
	Credito 8.1		Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi 1
	Credito 8.2		Luce naturale e visione: vista esterna per il 50% degli spazi 1
SI	7	NO	Innovazione nella Progettazione 6
	Credito 1.1		Innovazione nella Progettazione: titolo specifico 1
	Credito 1.2		Innovazione nella Progettazione: titolo specifico 1
	Credito 1.3		Innovazione nella Progettazione: titolo specifico 1
	Credito 1.4		Innovazione nella Progettazione: titolo specifico 1
	Credito 1.5		Innovazione nella Progettazione: titolo specifico 1
	Credito 2		Professionalità accreditata LEED/LEED AP 1
SI	7	NO	Priorità Regionale 4
	Credito 1.1		Priorità Regionale: credito specifico 1
	Credito 1.2		Priorità Regionale: credito specifico 1
	Credito 1.3		Priorità Regionale: credito specifico 1
	Credito 1.4		Priorità Regionale: credito specifico 1
SI	7	NO	Totale 119
LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni			
100 punti base/ 10 punti possibili per Innovazione nella Progettazione e Priorità Regionale			
Base 40 - 49 punti			
Argento 50 - 59 punti			
Oro 60 - 79 punti			
Platino 80 e oltre			

Figura 4. Lista di verifica del protocollo LEED® Italia Nuove Costruzioni / Grandi Ristrutturazioni.

A&RT

edifici e le competenze dei professionisti (LEED® GA e LEED® AP).

Lo schema di Figura 5 rende graficamente il concetto; la linea tratteggiata visibile nello schema sta ad indicare il flusso di informazioni legato al fatto che la funzione certificazione basa la propria verifica su ciò che viene definito dalla funzione sviluppo.

Non è possibile certificare un nuovo edificio (o una ristrutturazione) basandosi semplicemente sul progetto; un edificio certificato ha superato positivamente sia la verifica della fase di progetto, sia la verifica della fase di costruzione.

Il protocollo LEED® introduce due nuove figure professionali

(LEED® Accreditate Professionist e LEED® Green Associate) non obbligatorie al fine del conseguimento della certificazione e pone l'attenzione su due buone pratiche legate alla progettazione ed alla realizzazione:

- la modellazione energetica di tutti i consumi dell'edificio nel corso dell'anno, in regime dinamico (massimo 19 punti) o in condizioni semistazionarie (massimo 3 punti); si tratta di un credito, facoltativo (si ricorda che esiste il pre-requisito obbligatorio sulle performance energetiche minime), che chiede come minimo l'analisi dei consumi di illuminazione, condizionamento, riscaldamento, produzione di ACS ed energia di processo;

Figura 5. Ruoli differenti per GBC ed ente terzo certificatore.

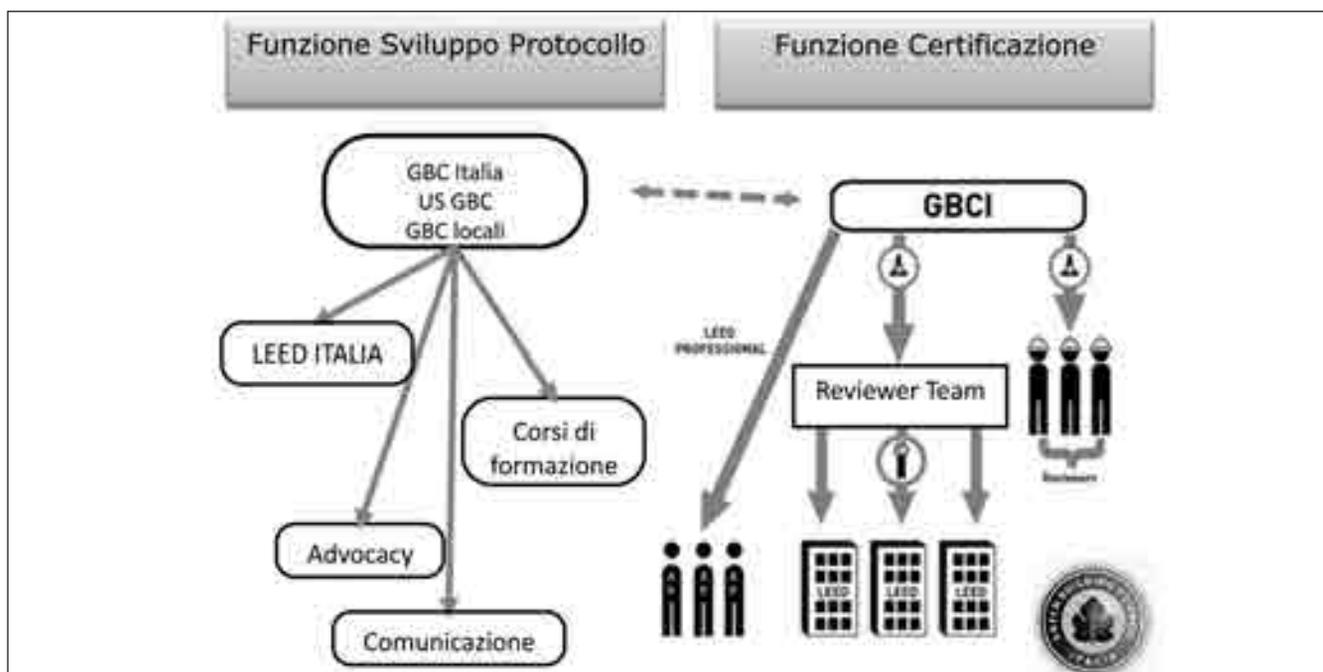
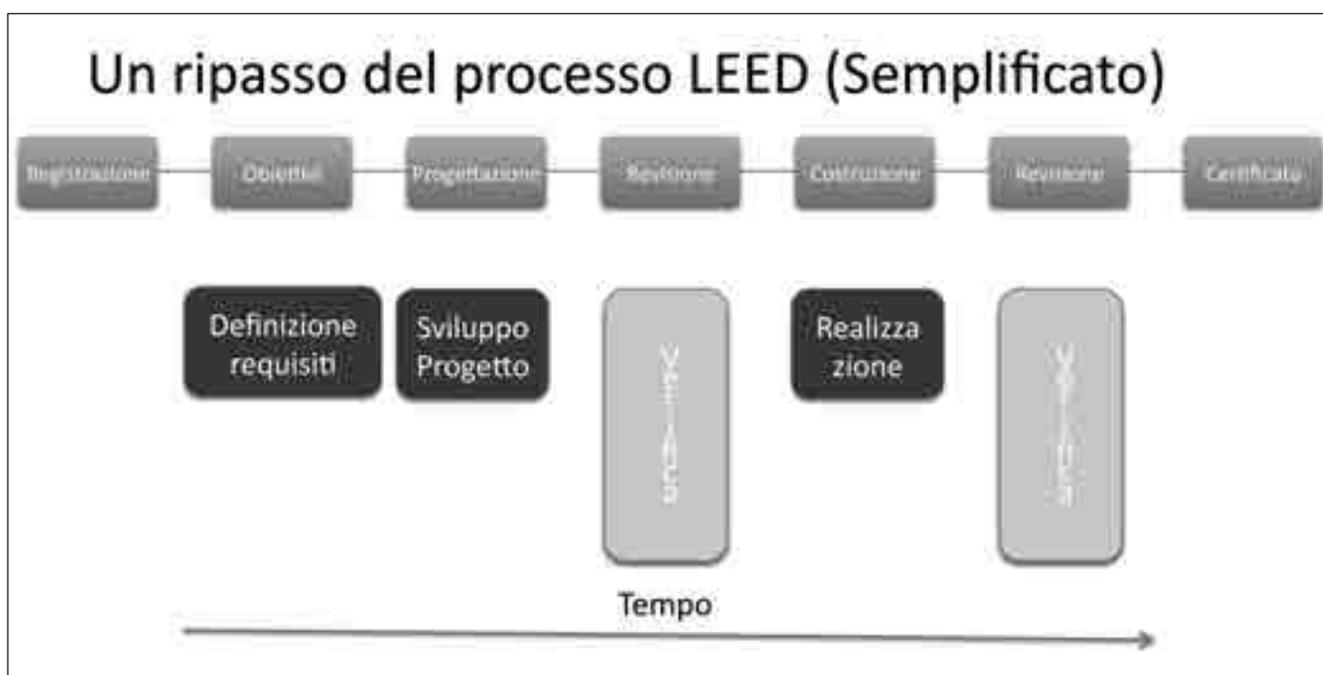


Figura 6. Il processo LEED® Nuove Costruzioni semplificato.



- il processo di *commissioning* (prerequisito - obbligatorio): quando un edificio viene commissionato esso è oggetto di un intenso controllo di qualità che inizia durante la fase di progettazione e continua durante le fasi di costruzione, occupazione e gestione. Il *commissioning* assicura che l'edificio si comporti secondo quanto richiesto dalla committenza e che gli occupanti siano preparati per gestire e mantenere i sistemi energetici e gli equipaggiamenti.

LEED® GA è indirizzato a quei professionisti che vogliono dimostrare di avere una conoscenza dell'edilizia sostenibile in ambiti non tecnici. Questo accreditamento è pensato per fornitori di prodotti e materiali, studenti, agenti di commercio, persone a servizio del cliente e per coloro che non sono intenzionati a diventare LEED® AP.

LEED® AP, necessario aver superato l'esame LEED® GA per candidarsi all'esame, è una figura tecnica specializzata sulla sostenibilità ed i contenuti dei protocolli LEED®. Il LEED® AP è un facilitatore del processo di certificazione, un esperto nell'interfaccia tra GBCI e team di progetto/realizzazione, un professionista che molto spesso affianca a contenuti tecnici, capacità di facilitazione dei flussi di informazioni e coordinamento di gruppi di persone.

Per certificare un edificio con i protocolli LEED® non è necessario essere soci di alcun GBC ne avere nel proprio team di lavoro alcun professionista accreditato (LEED® AP - LEED® GA); essere soci da diritto ad uno sconto sul costo di certificazione (vedi sito www.gbci.org) mentre avere nel team un LEED® AP permette di avere, oltre ad una guida in un processo spesso nuovo, un punto sui 110 totali.

Bibliografia e sitografia

- LEED for Building Design & Construction Reference Guide*, USGBC (disponibile su www.usgbc.org/store > Publications)
- LEED Italia 2009 Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni* (disponibile su www.gbccitalia.org)
- Green Building & LEED Core Concepts Guide* (disponibile su www.usgbc.org/store)
- LEED Short Version* (download libero)
- LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System*, 2009
- LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Grandi Ristrutturazioni*, 2010
- LEED for Existing Buildings: Operations & Maintenance Reference Guide, Introduction*, 2009
- LEED for Existing Buildings: Operations & Maintenance Reference Guide, Glossary*, 2008
- LEED 2009 for Operations & Maintenance Rating System*, 2009
- LEED for Homes Rating System*, 2008
- Guidance on Innovation & Design (ID) Credits*, USGBC, 2004
- LEED Online - Sample Credit Templates and Forms* (disponibile su www.usgbc.org)
- Davis Langdon, *Cost of Green Revisited, ...*, 2007
- Cathy Turner, Mark Frankel, *Energy Performance of LEED® for New Construction Buildings: Final Report, ...*, 2008
- Green Office Guide: Integrating LEED Into Your Leasing Process*, Section 2.4, 2009
- Credit Interpretation Rulings* (disponibile su www.gbci.org)
- LEED 2009 Minimum Program Requirements*, 2009
- www.gbccitalia.org
- www.usgbc.org
- www.gbci.org
- www.cacx.org
- www.commissioning.org

Green buildings: processo integrato e nuove professioni

Green buildings: integrated process and new professionals

DANIELE GUGLIELMINO

Daniele Guglielmino, architetto, Dottore di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito, vicecoordinatore del Comitato Standard Energia e Atmosfera di GBC Italia.

daniele.guglielmino@polito.it

Nel nostro Paese sono in rapida diffusione strumenti per il progetto e la valutazione del livello di sostenibilità energetico ambientale degli edifici. Tali sistemi di *rating* si basano su checklist di requisiti connessi a diverse tematiche ambientali. Tra i principali sistemi si citano il sistema LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*), di origine statunitense, il sistema BREEAM (*British Research Establishment Environmental Assessment Method*) di origine britannica e il sistema SBC/ITACA sviluppato in Italia. Tali sistemi intervengono nel processo di progettazione e costruzione attraverso l'introduzione di approcci e competenze non appartenenti alla comune pratica edilizia italiana. In modo particolare, tali procedure introducono nuove figure professionali impegnate in diverse fasi del processo. La presenza di tali figure all'interno del *panel* di professionisti si inserisce in uno specifico quadro di attività e responsabilità. Il testo presenta le figure professionali introdotte dai *rating system*, definendo i confini del loro ruolo all'interno dei processi e individuando alcune questioni aperte relativamente alle attività da essi svolte.

Nowadays, in our country, the use of tools to design and rate green buildings is widespread. These tools are based on checklist of requirements, related to various environmental issues. Well known checklist-based rating systems used in Italy are LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design, launched by USGBC in U.S.), BREEAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method, from UK) and the Italian SBC/ITACA. These rating systems are involved in the process of design, construction and occupancy, and require specific skills and approaches that usually do not belong to the common Italian building practice. In particular new professionals are engaged to cover specific roles. The presence of such professionals is part of a framework of specific activities and responsibilities. This text presents professional profiles introduced by rating systems, and try to define the role in the processes and identifying skills and capabilities.

Introduzione

La progettazione integrata è un approccio che pone le figure e le pratiche professionali, i sistemi di produzione, le strutture commerciali in un processo collaborativo che sfrutta i talenti e le idee di tutti i partecipanti al fine di ottimizzare i risultati del progetto, conseguire un aumento del valore dell'opera finale per il proprietario, contenere gli sprechi di risorse, siano esse umane o materiali, e massimizzare efficienza del processo, per tutte le fasi di progettazione e costruzione.

Il progetto integrato si distingue in particolare per la collaborazione efficace tra il Committente, il Gruppo di Progettazione, e gli Appaltatori, che deve avviarsi in fase di progettazione iniziale e continuare fino alla chiusura dei lavori. Per tale ragione un simile approccio richiede che la struttura del gruppo di

lavoro sia definita in fase di *concept design*.

L'approccio integrato al processo di progettazione, costruzione e gestione di un edificio costituisce un elemento fondante nella trasformazione tecnologica della pratica della costruzione edilizia introdotta nei tempi recenti attraverso i sistemi a punteggio per la valutazione del livello di sostenibilità energetico ambientale degli edifici. Si tratta di un sistema di protocolli nazionali ed internazionali basati su procedure che attribuiscono specifici punteggi a determinati requisiti che consentono di formulare un giudizio complessivo sulla *performance* prevista. In questi ultimi anni nel nostro Paese si è diffuso, soprattutto nel settore residenziale, l'impiego del protocollo ITACA basato su *SB-Method*, mentre, tra i più noti e consolidati strumenti a livello internazionale, vi sono i protocolli sviluppati da USGBC (*United States Green Building Council*) e dal BRE (*British Research Establishment*), denominati rispettivamente LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e BREEAM (*British Research Establishment's Environmental Assessment Method*). Tali sistemi introducono la necessità di un approccio integrato al processo, evidenziando l'importanza di una multidisciplinarietà di competenze che presuppone la presenza di figure professionali portatrici di uno specifico *know-how*. Oltre alle figure professionali riconosciute e consolidate nel tempo, si affiancano pertanto nuovi soggetti, identificabili negli esperti della procedura di certificazione di sostenibilità, unitamente a soggetti in grado di sviluppare simulazioni numeriche delle prestazioni energetiche ed ambientali del sistema edificio-impianti.

1. Dal processo tradizionale al processo integrato

Usualmente una struttura di progettazione può essere organizzata secondo due livelli [1].

Un primo livello è definito dai cosiddetti *primary participants* ossia i soggetti che all'interno del raggruppamento hanno ruoli di responsabilità e coinvolgimento dalla fase di *concept* alla conclusione dei lavori; nel caso di un processo tradizionale, non strutturato i *primary participants* possono essere riassunti nelle figure del Committente, del Progettista Architettonico, del *Contractor*. Un secondo livello è definito dai *key supporting participants* che all'interno di un processo tradizionale sono individuati nei consulenti e nei *sub contractor*. Una struttura che affronta un processo basandosi su un approccio integrato prevede una cooperazione estremamente fluida tra i due livelli. Il peso dei singoli soggetti (responsabilità, partecipazione, produzione di documenti) viene stabilito in ragione degli obiettivi del processo stesso e non secondo regole preordinate che vogliono i soggetti afferenti al primo dei due livelli descritti, come quelli predominanti.

Gli aspetti su cui si basa un processo integrato riguardano fondamentalmente i punti che seguono, e che sono proposti e discussi dall'*American Institute of Architects* (AIA) nel

documento *Integrated Project Delivery: A Guide*:

- *reciproco rispetto tra i componenti del raggruppamento*: in un progetto integrato, Committente, progettisti, consulenti, costruttori e fornitori comprendono il valore aggiunto restituito all'opera per effetto della collaborazione attiva intrapresa e convengono in un lavoro di gruppo;
- *mutui benefici e riconoscimenti*: tutti i componenti che partecipano al processo convengono di poter trarre beneficio dall'approccio integrato, dal momento che tale approccio richiede un precoce coinvolgimento della parti in causa questa condizione consente di conseguire il valore aggiunto dovuto alla collaborazione per focalizzare in modo netto gli obiettivi e ottimizzare l'intero processo;
- *condivisione nei processi decisionali e nell'innovazione*: lo sviluppo dei processi innovativi nasce dalla libera discussione tra i partecipanti, in quanto portatori di esperienze e competenze diverse; il plusvalore è riconosciuto dal dibattito condiviso che porta a delle scelte ponderate;
- *coinvolgimento delle figure chiave sin dalle fasi preliminari del processo*: in un processo integrato le figure chiave (definite tali in relazione agli obiettivi del processo e alla sue particolarità) sono coinvolte a partire dallo *startup* nel quale si avvia il processo decisionale;
- *definizione degli obiettivi sin dalle fasi preliminari del processo*: gli obiettivi del processo vengono definiti nelle fasi embrionali, condivisi e nel seguito rispettati da tutti i partecipanti;
- *pianificazione approfondita del processo*: il processo integrato contempla una specifica attenzione nella pianificazione del processo medesimo, con lo scopo di ottimizzarlo, contendo il rischio di imprevisti e traducendo il maggiore sforzo nelle operazioni di progetto in un minore costo;
- *trasparenza nella comunicazione*: prevedendo una rete di interazioni stretta a partire dalle prime fasi del processo, la comunicazione e lo scambio di informazioni tra i soggetti partecipanti deve essere chiara, trasparente e sviluppata su supporti accessibili a tutti i soggetti interessati;
- *uso di tecnologie appropriate*: il processo integrato porta con sé la condivisione di informazioni, le quali devono transitare ed essere elaborate con opportuni strumenti che ne massimizzino l'efficacia e si basino sull'interoperabilità dei supporti a disposizione;
- *organizzazione e regia del processo*: in un processo integrato la condivisione di informazioni e relazioni richiede anche la presenza di un soggetto in grado di coordinare le dinamiche che si generano. Usualmente questi ruoli vengono ricoperti da progettisti o costruttori, in relazione alle diverse fasi del processo medesimo, o alle complessità che esso assume.

2. Professioni a supporto della costruzione sostenibile

2.1. Professionisti accreditati per il supporto alle procedure di rating

I protocolli per la certificazione del livello di sostenibilità

A&RT

energetico ambientale del costruito si basano su una serie di obiettivi virtuosi connessi alle tematiche quali la gestione dei siti, delle acque, dell'energia, del comfort e dei materiali. La conoscenza di tali protocolli consente di implementare sul progetto le strategie più efficaci per il raggiungimento di tali obiettivi.

Sono riconosciute delle figure professionali in grado di guidare il gruppo di progetto all'interno di questo processo, in quanto esperti conoscitori dei *rating system*, in termini di procedura, contenuti e approcci. Questo ruolo viene svolto da consulenti specialistici esperti delle tematiche energetiche ed ambientali affrontate all'interno di tali protocolli. Tra queste figure si ricordano quelle relative ai protocolli presenti ed utilizzati nel nostro Paese:

- **LEED® Accredited Professional:** si tratta di una figura professionale esperta della procedura e dei contenuti dei diversi protocolli. Ad oggi prevede un esame in due *step* successivi: uno di base definito *Green Associate*, ed un secondo con specialità, che consente di accedere al Titolo di LEED® AP. Esiste un professionista accreditato per ogni protocollo LEED®. I protocolli riconoscono un punteggio dedicato nella categoria ID (*Innovation in Design*), per la presenza di un professionista accreditato nel raggruppamento [3-5];
- **BREEAM Accredited Professional:** si tratta di una figura del tutto simile a quella proposta per LEED®. Tale soggetto acquisisce le credenziali superando un esame per il quale occorre dimostrare sia elevate competenze sul campo della costruzione sostenibile in modo generico, sia con riferimento alla procedura di valutazione BREEAM, così da definire il profilo di un consulente in grado di guidare il Gruppo di Progettazione verso gli obiettivi prestabiliti [6-9]. I protocolli di valutazione BREEAM riconoscono la presenza costante di questa figura con un punteggio dedicato in una categoria di crediti definiti *Innovation*;
- **Esperto Protocollo ITACA:** si tratta di una figura in fase di sviluppo a partire dal 2010. Il titolo si consegue a seguito della frequenza a corsi dedicati, ad oggi organizzati dagli ordini professionali. Per il momento i protocolli ITACA esistenti non riconoscono un punteggio specifico per la presenza di tali soggetti all'interno dei raggruppamenti.

Per progetti complessi, tali esperti della procedura oltre che delle tematiche connesse alla costruzione sostenibile, possono essere anche più d'uno poiché essi possono acquisire competenze specifiche su ambiti disciplinari particolare (siti, energia, acqua...)

La presenza di tali figure supporta l'integrazione progettuale richiesta per favorire la definizione e il perseguimento degli obiettivi di sostenibilità e il mantenimento dell'aderenza alle indicazioni procedurali dei protocolli cui fanno riferimento.

2.2. Simulatori delle prestazioni energetico ambientali degli edifici

Se le figure descritte al paragrafo precedente svolgono un ruolo più generico di esperti delle tematiche della costruzione sostenibile e delle procedure, nonché registi del processo, occorre ricordare ciò che differenzia il *green building* dal *green washing* è concretezza degli intenti e la possibilità di valutare i benefici in modo discreto. Pertanto gli aspetti più complessi sono demandati a figure professionali che oltre a possedere generiche competenze, sono portatrici di conoscenze di nicchia, sia da un punto di vista disciplinare sia da un punto di vista del controllo degli strumenti necessari.

Il tema della prestazione energetica degli edifici e delle scelte di progetto volte ad ottimizzarla ha pesanti effetti su molti altri temi, e maggiore è la complessità del processo maggiori sono le valutazioni che è necessario porre in essere.

In Italia la legislazione in ambito energetico ha prodotto sinora una spinta nell'ambito della valutazione energetica basandosi su modelli di calcolo semplificati. Si sta tuttavia diffondendo, grazie alla spinta prodotta in Italia dal sistema LEED®, una richiesta di figure professionali in grado di gestire processi di modellazione e simulazione della prestazione energetica globale dell'edificio attraverso codici di calcolo dinamici, dettagliati, usati sinora nel nostro paese essenzialmente in ambito di ricerca accademica.

Un riconoscimento professionale per questa categoria è il BEMP *Building Energy Modeling Professional* istituito da ASHRAE [10, 11]. Si tratta di un processo di accreditamento ottenibile attraverso il superamento di un esame dedicato. Tale programma è stato lanciato il 27 gennaio 2007 durante l'evento *Winter Conference and AHR Expo* in Orlando (FL). Il programma è stato sviluppato in collaborazione con il Chapter statunitense di IBPSA (*International Building Performance Simulation Association*) [12] e con IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) [13] con lo scopo di certificare la competenza professionale di singoli individui con riferimento alla capacità di valutare, utilizzare, calibrare e interpretare i risultati di uno strumento di simulazione termo energetica dinamica utilizzato per modellare il sistema edificio impianto (sia con riferimento al nuovo che all'esistente) al fine di definirne la prestazione energetica globale. Il processo cosiddetto di *Building Simulation*, parte idealmente negli anni '70 del '900, con i primi sviluppi in diversi ambiti di codici di calcolo per la simulazione dettagliata degli edifici [12, 13] per arrivare ad un progressivo incremento delle potenzialità degli strumenti a disposizione [14].

Oltre alla simulazione della prestazione del sistema edificio impianti a fini energetici, anche altri aspetti sono oggetto di potenziali approfondimenti. La valutazione della qualità dell'ambiente interno, con riferimento all'ambiente visivo, acustico, termico e alla qualità dell'aria, possono

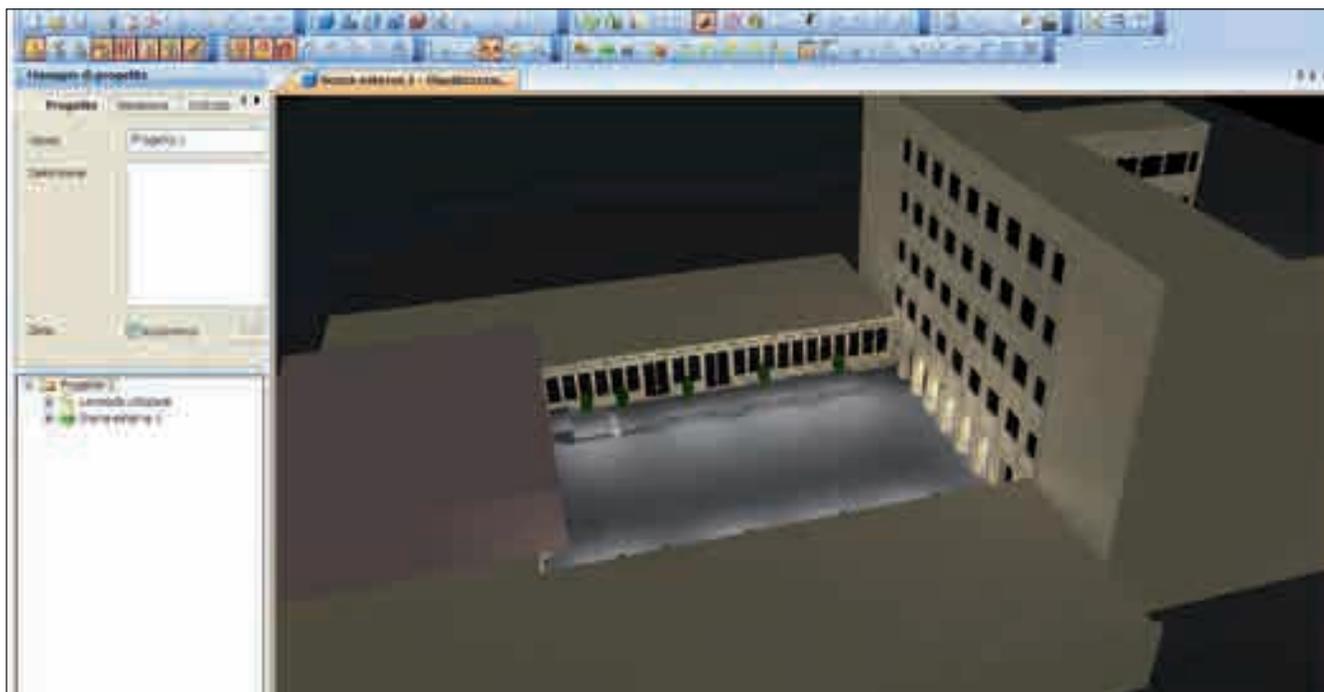
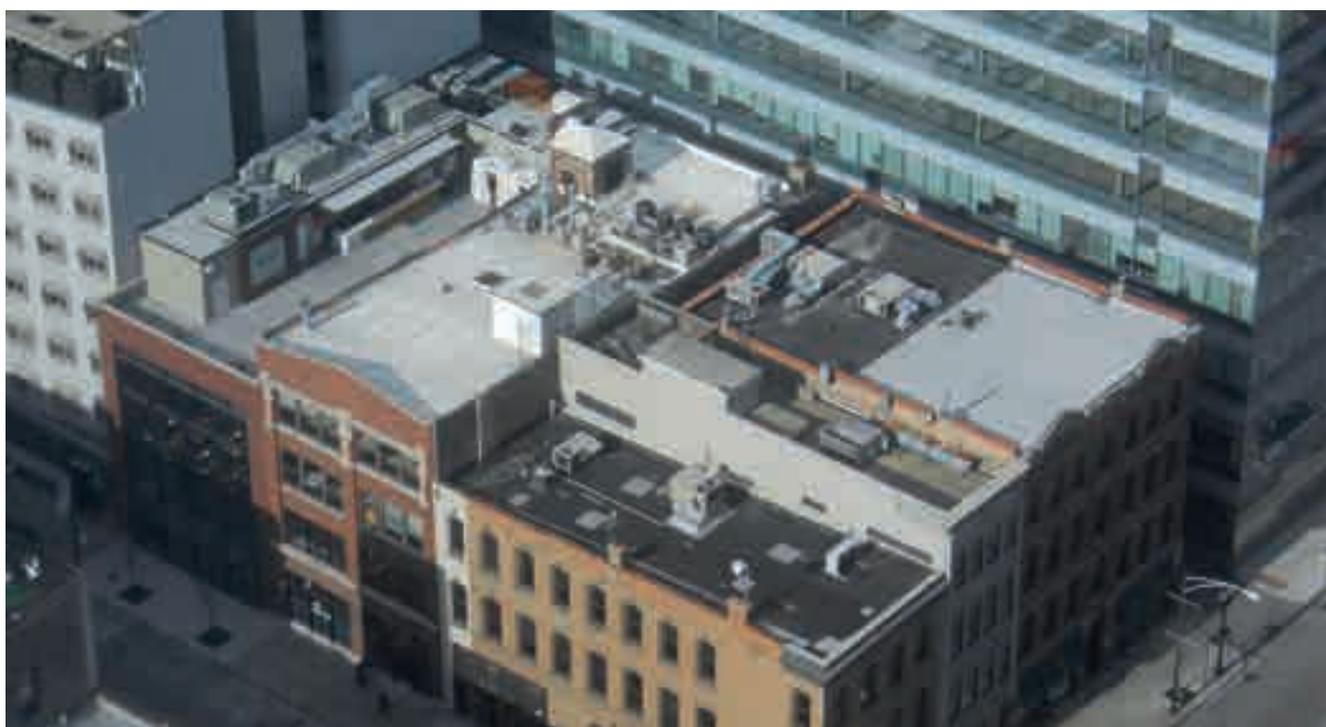
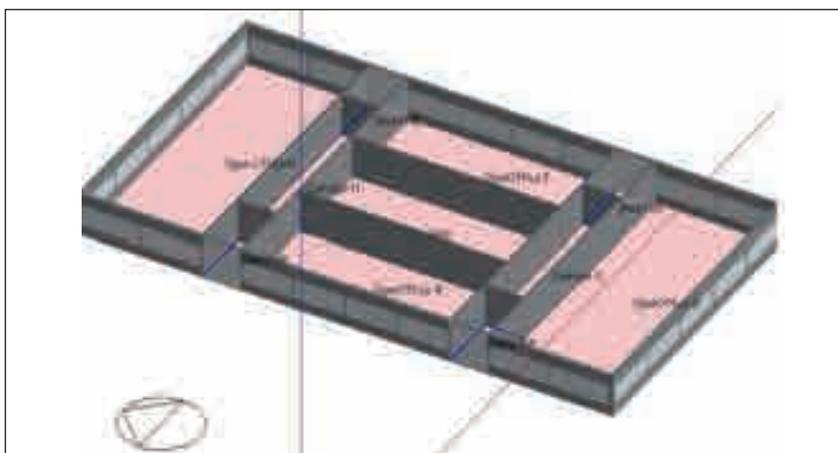


Figura 1. Screenshot del software DIALux (www.dial.de).

Figura 2. Screenshot del software Design Builder (www.designbuilder.co.uk).

Figura 3. Impianti meccanici in copertura di un edificio.



A&RT

essere oggetto di calcoli e valutazioni previsionale per definire gli effetti portati da scelte progettuali, invidiando così competenza aggiuntive.

3. Il controllo della qualità del processo: la procedura di Commissioning

I progetti che conseguono certificazioni del livello di sostenibilità energetico ambientale secondo procedure quali LEED® e BREEAM vengono sottoposti ad un controllo del processo molto dettagliato, basato sul *Commissioning* del sistema edificio-impianti.

Di fatto l'attività di *Commissioning* è un processo di qualità e di verifica pianificata e sistematica dello stato di avanzamento della progettazione e della realizzazione degli impianti, che coinvolge sia la Committenza, sia il gruppo di progetto, gli appaltatori e gli occupanti che potranno essere chiamati a gestire i sistemi tecnologici in prima persona. Tale procedura acquisisce particolare importanza soprattutto per il Committente, in quanto offre maggiori garanzie sul raggiungimento degli obiettivi proposti in fase preliminare e sul buon funzionamento finale degli impianti.

La *Commissioning Authority* rappresenta il soggetto responsabile dell'attività di *Commissioning* ed incaricato di organizzare, condurre e verificare la completezza delle attività di tale processo.

Esistono diversi riferimenti per la definizione della procedura di *Commissioning* tra i quali si citano le pubblicazioni ASHRAE e BSRIA [15-23].

In generale il processo intende avviare l'operatività in fase di definizione degli obiettivi del processo e potenzialmente proseguire durante l'esercizio della costruzione.

Un processo di *Commissioning*, secondo le fonti citate [15-20] interessa necessariamente le seguenti fasi del processo:

- *Pre-design*;
- *Design*;
- *Construction*;
- *Occupancy*.

Pertanto la nomina dell'autorità di *Commissioning* deve avere luogo nelle fasi iniziali del progetto. Essa dovrà [15-23]:

- documentare i requisiti di progetto del Committente che dovranno essere posti come riferimento per il gruppo di progettazione e per gli appaltatori;
- revisionare il materiale prodotto dal Gruppo di Progettazione e valutare, per conto della Committenza, che includa quanto stabilito;
- sviluppare un piano di *Commissioning* da portare avanti per l'intero processo;
- revisionare gli elaborati di progetto che andranno in appalto al fine di valutarne la completezza e riscontrare la presenza dei requisiti imposti dalla procedura di *Commissioning*;
- revisionare i documenti prodotti dagli appaltatori e riscontrarne la completezza;

- verificare l'installazione dei sistemi tecnologici oggetto di *Commissioning* e supervisionare i test prestazionali;
- sviluppare la manualistica necessaria ai soggetti che gestiranno i sistemi tecnologici in esercizio;
- condurre la formazione di questi soggetti al fine di assicurare la massima preparazione degli stessi;
- redigere un report finale di *Commissioning* che attesti le attività svolte;
- eseguire eventuali verifiche successive all'ingresso in esercizio della costruzione;
- redigere questionari rivolti agli occupanti per valutare il loro stato di benessere all'interno dell'edificio in esercizio;
- eseguire test funzionali con cadenza periodica dall'ingresso in esercizio della costruzione per valutare il mantenimento della prestazioni.

La figura professionale corrispondente al Responsabile del *Commissioning* (definita *Commissioning Authority* nelle procedure americane e *Commissioning Manager* in quelle britanniche) prevede delle forme di riconoscimento e attestazione. Negli Stati Uniti esiste un processo di abilitazione guidato da ASHRAE che propone corsi ed esami specialistici, con la possibilità di inclusione in un elenco pubblico.

Conclusioni

In un contesto socioeconomico come quello contemporaneo, nel quale la qualità di un servizio o prodotto può costituire un elemento di ripresa e di definizione di una nicchia di mercato di sopravvivenza e crescita, l'acquisizione di competenze specialistiche costituisce un espediente significativo e uno strumento efficace.

La presenza di attestazioni di *capability* maturare sul campo o seguito di percorsi di formazione guida gli operatori della filiera edilizia ad un processo di continua crescita, concreta e dimostrata.

Alla base del cambiamento descritto vi è però una variazione di metodo prima che di conoscenze. La struttura innovativa proposta dall'approccio integrato riorganizza il processo secondo una logica di condivisione e collaborazione tra attori diversi. Ne consegue la necessità di dotarsi di strumenti opportuni e di decentralizzare le competenze a soggetti diversi, che offrano la garanzia di un *know-how* specifico. Di qui la necessità per i soggetti impegnati nel campo dell'architettura e dell'ingegneria civile di perseguire una crescita personale continua.

L'importazione di alcune procedure consolidate in altri Paesi, spesso guidate da una logica di mercato, come può essere le procedure LEED® o BREEAM, le quali prevedono il contributo di una serie di soggetti con specifica collocazione all'interno del processo, e con ruoli definiti, fornisce un contributo significativo nell'evoluzione delle professioni connesse alla costruzione.

Bibliografia e sitografia

- [1] AIA National AIA California Council The American Institute of Architects, *Integrated Project Delivery: A Guide*, 2007 Version 1 (disponibile on-line)
- [2] AA.VV., *LEED® Green Associate Study Guide*, Green Building Education Services, 2010
- [3] LEED® *Building Design and Construction – Reference Guide 2009*
- [4] www.usgbc.org
- [5] www.gbcentralia.org
- [6] www.breeam.org
- [7] www.breglobal.com
- [8] www.bre.co.uk
- [9] www.greenbooklive.com
- [10] www.ashare.org
- [11] *Instructions for Participating in ASHRAE's Building Energy Modeling Professional (BEMP) Certification Program*
- [12] G. Augembroe, *Energy Modeling and Simulation, Application in Building Sustainability Rating*, College of Architecture, Georgia Institute of Technology, Atlanta 2010 (disponibile on-line)
- [13] J.A. Clarke, *Environmental System Performance*, PhD Thesis, University of Strathclyde, Glasgow 1977
- [14] J.W. Hand et al., *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*. Version 1.0, July 2005
- [15] *ASHRAE Guideline 0-2005. The Commissioning Process*
- [16] *ASHRAE Guideline 1.1-2007. HVAC&R Technical Requirements for the Commissioning Process*
- [17] *NIBS Guideline 3-2006. Exterior Enclosure for Technical Requirements for the Commissioning Process*
- [18] G. Hawkins, *Commissioning Job Book. A framework for managing the commissioning process*, BSRIA, 2010
- [19] BSRIA (a cura di), *Commissioning Guide Set*, BSRIA: *Application Guide 1/91 - Commissioning of VAV systems in Buildings; Application Guide 20/95 - Commissioning of Pipework Systems; Technical Memoranda 1/88.1 - Commissioning HVAC Systems; Application Guide 3/89.3 - Commissioning of Air Systems in Buildings; Application Guide 1/2001 - Pre-commission Cleaning of Pipework Systems; Application Guide 2/89.2 - Commissioning of Water Systems in Buildings; Application Guide 2/89.3 - Commissioning water systems application principles; Application Guide 5/2002 - Commissioning Management; AG16/2002 - Variable flow water systems: design, installation and commissioning guidance*
- [20] R.O. Agustsson, *Building Commissioning*, Master Thesis Technical University of Denmark, 2010
- [21] CIBSE *Commissioning Codes: Commissioning Codes A - Air Distribution Systems* (1996); *Commissioning Codes B - Boilers* (2002); *Commissioning Codes C - Automatic Controls* (2001); *Commissioning Codes R - Refrigeration Systems* (2002); *Commissioning Codes W - Water Distribution Systems* (2003) *Commissioning Codes L - Lighting* (2003); *Commissioning Codes M - Commissioning Management* (2003)
- [22] *ASHRAE 111-1988 - Practices for Measurement, Testing, Adjusting and Balancing of Building Heating, Ventilation, Air-Conditioning and Refrigeration Systems*
- [23] *Good Practice Guide 347: Installation and commissioning of refrigeration systems*, Action Energy (now Carbon Trust), 2003
- [24] AA.VV., *Class A Building, the next generation*, Fenwick 2010
- [25] www.tmecorp.com/commissioningcost.php
- [26] buildingcommissioning.wordpress.com/2008/04/28/commissioning-costs-and-budgets
- [27] wiki.aia.org/wiki/%20pages/energy%20modeling.aspx

Figura 4. Sonda geotermiche.



Responsabilità professionali per la sostenibilità certificata

Professionals responsibility for sustainable building certification

MARCO CARONE, VINCENZO DIEGO CUTUGNO

Marco Carone, avvocato, managing partner
e fondatore Studio legale Carone & Partners.
mcarone@cplex.it

Vincenzo Diego Cutugno, avvocato, Studio
legale Carone & Partners.
vcutugno@cplex.it

Lo sviluppo delle procedure di certificazione per l'edilizia sostenibile ha creato una nuova serie di figure professionali, portatrici di esperienza specifica, che vengono coinvolte nel processo progettuale al fine di conseguire i requisiti per accedere alle certificazioni. Nel presente articolo vengono indagati i profili di responsabilità di tali consulenti attraverso la definizione della natura giuridica del soggetto, la specificazione degli obblighi che si assume e gli effetti di possibili inadempienze.

The development of certification procedures for sustainable building has created a new generation of professionals, that have specific experience and are involved in the design process in order to meet the requirements for accessing to certifications. In the present article, the profiles of the responsibility of such consultants are investigated by defining the legal nature of the subject, the specifications of the obligations and the effects of possible failures.

1. Evoluzione normativa

Negli ultimi anni, il legislatore comunitario e quello nazionale hanno compiuto alcuni passi importanti verso la sostenibilità – in linea, peraltro, con un orientamento sempre più diffuso nella collettività civile e nella comunità economica – introducendo provvedimenti normativi molto significativi in materia ambientale.

Le disposizioni a cui si accenna informano il tessuto normativo in modo trasversale, toccando i settori economici più disparati (e.g.: tecnologie, prodotti industriali, formazione ecc.). L'ambito che qui ci preme esaminare è, tuttavia, più circoscritto e riguarda strettamente il settore immobiliare; nello specifico, il tema della sostenibilità degli edifici e di alcune criticità giuridiche ad essa connesse.

L'approccio prevalente sinora adottato dal legislatore – sia comunitario che nazionale – riguarda la promozione del principio di efficienza energetica degli immobili e la diffusione di pratiche virtuose atte a ridurre drasticamente il livello dei consumi degli edifici. In quest'ottica, negli ultimi anni, sono stati adottati strumenti normativi volti, da un lato, a istituire requisiti minimi di prestazione energetica e, dall'altro, a elaborare un sistema di valutazione e certificazione energetica degli immobili.

Da un punto di vista normativo, ai sensi della direttiva europea 2002/91/CE, gli Stati membri hanno dovuto conformare i propri ordinamenti interni, adottando provvedimenti volti, tra l'altro, a rendere obbligatoria la certificazione energetica degli edifici, da attestarsi con l'emissione di un certificato redatto da un professionista specializzato o da un organismo preposto al fine di consentire ai consumatori di valutare e raffrontare il

rendimento energetico degli edifici.

In questo contesto si inserisce, inoltre, la recente direttiva comunitaria 2010/31/UE, ultima di una serie di provvedimenti analoghi, il cui scopo è quello di favorire «il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi». A tal fine, la direttiva prescrive alcune regole generali (da recepire nei singoli ordinamenti degli Stati UE) finalizzate a rendere cogente il rispetto di specifici requisiti minimi di efficienza energetica, e impone agli Stati comunitari l'elaborazione di piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia "quasi zero"¹. In Italia, poi, il legislatore è intervenuto per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, prima con il decreto legislativo n. 192 del 2005² e, più di recente, con le *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* (D.M. 26 giugno del 2009).

L'inquadramento giuridico sinora adottato, sia a livello comunitario che nazionale, nell'ambito della eco-sostenibilità immobiliare ci pare, tuttavia, alquanto limitato e parziale. La misurazione dell'impatto ambientale di un edificio presuppone, senza dubbio, la valutazione dei suoi consumi energetici, ma non può esaurirsi in quest'unica attività. È ormai riconosciuto, a livello internazionale (ed in primo luogo negli Stati Uniti), che l'eco-sostenibilità di un immobile è determinata da numerosi fattori, di cui il risparmio energetico costituisce soltanto il tassello, sia pure principale, di un più ampio mosaico.

Si sta diffondendo progressivamente un concetto di valutazione ambientale che considera gli immobili in senso olistico, giudicandone la sostenibilità in funzione di innumerevoli variabili, che spaziano dalla scelta del sito alla gestione delle acque sul cantiere, dal consumo di determinati materiali e risorse alla salvaguardia della qualità dell'aria all'interno dell'edificio, dal riciclo dei materiali edili al contenimento delle emissioni di gas e di rumore. Di qui, l'ideazione di sistemi di *rating* volti a misurare il complessivo impatto ambientale degli edifici di nuova costruzione o ristrutturati, sulla base di parametri e di requisiti di progettazione e di costruzione sostenibile. L'evoluzione di tali sistemi ha poi portato, in alcuni casi, ad assegnare il ruolo di certificazione a un organismo terzo e indipendente che valuta se, e in quale misura, siano stati rispettati i requisiti prefissati nel rispettivo protocollo di sostenibilità, assegnando un determinato livello (più o meno elevato) di certificazione. È questo il caso dello standard LEED[®] (Leadership in Energy and Environmental Design) emesso dallo USGBC (United States Green Building Council) che assegna il ruolo di istituto certificatore al GBCI (Green Building Certification Institute).

Prima di procedere nell'analisi, riteniamo utile ripercorrere

brevemente le tappe principali dell'evoluzione del sistema di *rating* LEED[®].

Come detto, l'ideazione e la realizzazione dei protocolli LEED[®] si deve all'associazione no-profit americana USGBC. Durante tutto il periodo iniziale di affermazione dello standard LEED[®] negli Stati Uniti e nel mondo, era lo USGBC a provvedere tanto alla formulazione dei criteri di *rating*, quanto alla loro interpretazione e applicazione ai fini del riconoscimento della certificazione LEED[®].

Lo straordinario successo del LEED[®], in USA e nel resto del mondo, e la crescente domanda di certificati emessi dallo USGBC, ha progressivamente imposto la necessità di riconsiderare l'intera organizzazione del sistema di certificazione. L'evoluzione organizzativa ha portato dunque alla nascita, da un lato, del GBCI e, dall'altro, alla diffusione di Green Building Council locali (nel nostro Paese, il Green Building Council Italia), che rappresentano una sorta di *alter ego* dello USGBC nei vari Paesi del mondo.

Secondo la corrente ripartizione delle competenze, il Green Building Council Italia definisce lo standard LEED[®] Italia e promuove la sensibilizzazione alla sostenibilità anche attraverso attività di formazione. È invece il GBCI a curare il processo di certificazione, valutare concretamente i risultati ottenuti nella realizzazione dell'immobile e stabilire se questi siano tali da consentire l'ottenimento della certificazione (nei suoi vari livelli: *Certified, Silver, Gold, Platinum*).

Tutto ciò determina importanti criticità sotto il profilo legale. Quanto detto vale anche, e soprattutto, con riguardo al nostro ordinamento, ove manca un'ideale regolamentazione normativa sia del sistema di certificazione, che dei profili di responsabilità delle figure che vengono coinvolte nel processo di certificazione. La definizione del protocollo LEED[®] ha, difatti, contribuito alla nascita di nuove figure professionali impegnate nella consulenza relativa al processo di certificazione.

Lo scopo del presente contributo è quello, dunque, di esaminare, nei limiti consentiti dalla ristrettezza della trattazione, i profili di responsabilità di alcune figure professionali, confrontandole, ove possibile, con quelle, che presentano con queste elementi di analogia, che hanno già trovato una collocazione nel nostro ordinamento o che, in qualche modo, sono già state oggetto di analisi da parte della dottrina o della giurisprudenza.

2. Profili di responsabilità del consulente LEED[®]

2.1. Oggetto dell'analisi

Nel precedente paragrafo, abbiamo già accennato al fatto che la progettazione e la realizzazione di edifici certificati LEED[®] richiede competenze tecniche e professionali specifiche. Tale esigenza ha stimolato la nascita di nuove figure professionali, che spesso affiancano e guidano le scelte dei soggetti impegnati nel progetto immobiliare.

A&RT

In genere, questo ruolo viene svolto dal consulente LEED[®], espressione con la quale si indica un professionista, ovvero una società di consulenza, in grado di seguire gli aspetti relativi alla certificazione LEED[®].

Tale definizione è naturalmente molto generica e a essa facciamo qui riferimento, per ragioni di chiarezza e di brevità espositiva, per definire una figura professionale nella realtà difficilmente inquadrabile in maniera univoca. Al contrario, le attività e le competenze che vengono, di volta in volta, richieste a chi si occupa degli adempimenti connessi con la procedura di certificazione possono variare significativamente in ragione del progetto immobiliare coinvolto e dei compiti assegnati a tale soggetto. In alcuni casi (ma nella pratica accade molto raramente), difatti, potrebbe addirittura accadere che più consulenti vengano incaricati di seguire fasi differenti del processo di certificazione.

Ciascuna delle parti del progetto immobiliare (committenza, appaltatore, studio di progettazione ecc.) può ritenere opportuno assegnare a questo consulente il compito di seguire l'intero iter di certificazione o parti specifiche dello stesso. Il committente, ad esempio, può incaricare un consulente LEED[®] al fine di condurre una *due-diligence* ambientale sul sito, monitorare che la progettazione, i lavori e la fase di comunicazione con il Green Building Certification Institute ovvero con il Green Building Council Italia siano svolti correttamente e in linea con le prescrizioni LEED[®]. L'appaltatore, d'altra parte, può richiedere a tale consulente di seguire i lavori di costruzione e di farsi carico degli adempimenti necessari per ottenere la certificazione ovvero di indicare in un documento i materiali più adatti da utilizzare per rispettare i requisiti LEED[®]. Lo studio di progettazione, infine, potrebbe rivolgersi a un consulente esperto in materia di *green building*, affinché contribuisca con le proprie competenze al fine di procedere con la realizzazione del progetto.

Formulata questa breve premessa, riteniamo opportuno, per poter approfondire i termini generali delle fattispecie giuridiche oggetto di questa analisi, considerare il consulente LEED[®] come una figura dai contorni ben definiti e dalle competenze chiaramente delineate. Pertanto, nell'ambito di questo lavoro ci riferiremo con tale termine al professionista, persona fisica o giuridica, che:

- a. ha maturato significative esperienze (e ottenuto le necessarie qualifiche) in relazione al protocollo di certificazione LEED[®];
- b. conosce la procedura di certificazione ai sensi del protocollo LEED[®] di riferimento;
- c. offre alla committenza il proprio supporto e le proprie capacità professionali per compiere tutte le attività necessarie, utili ed opportune perché tale certificazione venga riconosciuta (e.g.: attività di *commissioning*, raccolta e invio di dati, invio di richieste allo GBCI, quali i *Credit Interpretation Request*).

Il consulente LEED[®] si avvale, inoltre, di uno o più LEED[®] *Accredited Professional*. Il Manuale LEED[®] Italia *Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni* dedica un paragrafo (Innovazione nella Progettazione) alla figura del Professionista Accreditato LEED[®]. La partecipazione al progetto immobiliare di un professionista in possesso di tale qualifica comporta l'ottenimento di un credito aggiuntivo (IP credito 1).

Lo scopo del c.d. LEED[®] AP è quello di supportare e promuovere l'integrazione progettuale richiesta per favorire l'applicazione e la certificazione LEED[®]. Il professionista che ha ottenuto la qualifica di LEED[®] AP ha maturato le competenze necessarie per valutare se un progetto abbia i requisiti per essere certificato LEED[®] ed è in grado di coordinare la predisposizione della documentazione necessaria alla certificazione. Per queste ragioni, tale figura diviene quasi indispensabile ai fini della certificazione.

Il Manuale LEED[®] chiarisce, inoltre, che può ottenere la qualifica LEED[®] AP qualunque professionista del settore immobiliare (architetti, ingegneri, consulenti, proprietari) che abbia mostrato un forte interesse nella progettazione architettonica sostenibile e che abbia superato l'esame di Professionista Accreditato LEED[®]; tale accreditamento riconosce il possesso di una preparazione adeguata nelle procedure LEED[®], nel metodo di soddisfacimento dei requisiti, delle risorse e dei processi legati al LEED[®]. In genere, sebbene non sia prevista obbligatoriamente la partecipazione di un LEED[®] AP alla realizzazione di un progetto immobiliare LEED[®], le parti coinvolte ritengono opportuno richiedere il supporto di un professionista in grado di offrire un prezioso contributo per il corretto adempimento dei requisiti formali e sostanziali prescritti dal sistema LEED[®].

Questo lavoro mira a esaminare la natura dei profili di responsabilità che possono emergere nei confronti del consulente LEED[®].

2.2. Le fonti normative

L'assenza di un contesto normativo di riferimento, e di precedenti analisi tecnico-giuridiche, ci spinge a valutare e analizzare i profili di responsabilità e la natura giuridica di questa figura professionale partendo da fattispecie giuridiche in qualche misura analoghe e già oggetto di studio da parte della dottrina e della giurisprudenza. È questo il caso del tema della certificazione di qualità³ e della responsabilità dei certificatori. Pur non ignorando le differenze sostanziali che riguardano i due ambiti di studio⁴, riteniamo, d'altra parte, che un raffronto tra le due categorie possa offrire interessanti spunti di riflessione.

Osserviamo innanzitutto che le certificazioni di qualità possono essere contraddistinte sulla base della loro natura

ovvero del loro oggetto⁵. La natura riguarda l'obbligatorietà o la volontarietà delle medesime (se sono imposte dalla legge ovvero adottate spontaneamente dall'impresa), mentre l'oggetto si riferisce all'ambito della loro valutazione (i.e. un prodotto, un servizio, un sistema di gestione aziendale, il personale ecc.⁶). Senza spingersi addentro nell'analisi dell'argomento, che interessa soltanto incidentalmente ai fini di questo lavoro, possiamo affermare che un quadro normativo, peraltro molto frammentario e disomogeneo, esiste solo in relazione alla certificazione obbligatoria⁷. Come affermato da un autore, il sistema di certificazione nasce, difatti,

come fenomeno spontaneo, frutto di volontarie iniziative imprenditoriali, dettate in primo luogo da esigenze "interne", funzionali a ottenere un miglior controllo del processo produttivo e una maggiore sicurezza sullo standard di prodotto e, quindi, una migliore efficienza ed economicità dell'azienda; a queste si sono progressivamente affiancate esigenze di natura "esterna", dirette a stabilire un rapporto di fiducia con i terzi in generale (ivi compresi i consumatori), finendo per assumere il ruolo di vero e proprio strumento di "persuasione" e di sollecitazione all'acquisto nei riguardi del consumatore acquirente⁸.

Senza dubbio, per tornare al tema della nostra breve analisi, il protocollo LEED[®] (come sostenuto con enfasi dall'istituto che lo ha emesso) costituisce un sistema di certificazione volontario, il cui oggetto di analisi è l'attestazione di qualità e di eco-sostenibilità di un edificio.

2.3. Le obbligazioni assunte

Per poter analizzare i profili di responsabilità che potrebbero eventualmente emergere in relazione a ciascuna delle due fattispecie che qui si esaminano, soggetto certificatore e consulente per la certificazione, occorre innanzitutto rivolgere l'attenzione alle obbligazioni contrattuali rispettivamente assunte da tali soggetti. La configurabilità di obblighi specifici o generici in capo a ciascuna delle due figure costituisce, difatti, un passaggio obbligato per configurare la responsabilità per l'inesatta certificazione, nel primo caso, ovvero per la mancata certificazione nel secondo. In termini concreti, e da un'analisi della modulistica adottata nel contratto di certificazione, emerge che il certificatore, soggetto terzo e indipendente, assume l'obbligo di svolgere l'attività di certificazione della qualità verso un corrispettivo in denaro. Il compito del certificatore si articola in diverse fasi e prescrive numerose attività e verifiche volte ad appurare la conformità di un servizio, di un prodotto, di una struttura organizzativa ovvero di una figura professionale agli standard di qualità previsti dalla disciplina di riferimento⁹. Nel secondo caso, invece, il contratto di consulenza LEED[®] può essere definito come l'accordo negoziale con cui il consulente si impegna a eseguire tutte le attività necessarie affinché

l'immobile venga certificato e, nello specifico, che l'attività di progettazione e quella di costruzione seguano pedissequamente le disposizioni prescritte nello standard LEED[®] di riferimento.

In entrambi i casi, dunque, possiamo dire che si tratta di contratti consensuali a effetti obbligatori, bilaterali, sinalagmatici, onerosi e di durata¹⁰. Le due fattispecie vanno, d'altra parte, mantenute nettamente distinte anche alla luce del fatto che la prestazione eseguita dal certificatore non assume i caratteri dell'attività di consulenza industriale. La qual cosa è, peraltro, chiarita nelle condizioni generali di contratto di certificazione, ove sovente si precisa che l'organismo di certificazione non fornisce servizi di consulenza. Il certificatore, difatti, svolge specificamente l'attività di raccolta dei dati e delle informazioni inerenti gli ambiti di certificazione e si occupa del loro esame e della loro valutazione ai fini del riconoscimento, o del diniego, dei requisiti di qualità. Un'eventuale attività di consulenza volta ad indicare le possibili carenze nonché gli strumenti idonei per sopperirvi, sarebbe in evidente contrasto con l'esigenza di garantire una valutazione imparziale, che verrebbe, di fatto, falsata dal duplice ruolo di controllo/re-controllato rivestito dal certificatore.

Oltre a ciò, nelle condizioni generali dei contratti di certificazione vengono riportate clausole di esclusione e di limitazione della responsabilità nonché clausole di manleva. Con tali specifiche previsioni, il certificatore precisa che: (i) il rispetto dei requisiti di qualità, salvo ove essi siano di natura cogente, è di esclusiva responsabilità del soggetto che richiede la certificazione; e (ii) quest'ultimo si impegna a tenere indenne il certificatore da qualsiasi azione intentata nei confronti dello stesso, per ragioni conseguenti o connesse con l'attività di certificazione svolta.

Un sistema di ripartizione delle responsabilità analogo viene, in genere, adottato, *mutatis mutandis*, anche nei rapporti contrattuali tra la committenza e il consulente LEED[®]. In questo caso, naturalmente, la limitazione della responsabilità, ovvero la concessione di garanzie in favore del committente, muta notevolmente in virtù del rapporto di forza contrattuale. Considerando le due ipotesi limite, a titolo esemplificativo, potrebbe verificarsi che: (a) il consulente LEED[®] assuma interamente su di sé la responsabilità per il mancato ottenimento della certificazione LEED[®], anche nel caso in cui tali conseguenze fossero da imputare a eventi/comportamenti a lui non riferibili; ovvero (b) il consulente LEED[®] si impegni esclusivamente a porre in essere una serie di attività e di indagini, relative al processo di certificazione, senza tuttavia assumere la responsabilità della certificazione, che resterà pertanto ripartita tra tutti i soggetti che partecipano alla realizzazione del progetto immobiliare, sulla base delle obbligazioni assunte da ciascuno di questi. Nel primo caso, questi assume un vero e proprio obbligo di risultato. Egli sarà

A&RT

tenuto, infatti, a raggiungere un certo scopo corrispondente all'interesse del creditore (uno specifico livello di certificazione LEED®: argento, oro ecc.) e il regime di responsabilità sarà basato sulla semplice ed oggettiva constatazione della mancanza del risultato atteso (l'ottenimento di quella certificazione); lo sforzo di diligenza non rileva di per sé, ma in via strumentale, al perseguimento dello scopo stesso¹¹. Da un punto di vista meramente probatorio, inoltre, varrebbe la regola di cui all'articolo 1218 c.c. e, pertanto, spetterebbe al consulente la dimostrazione che il mancato ottenimento della certificazione LEED® sia stato determinato da impossibilità derivante da causa a lui non imputabile.

Nel secondo caso riportato, invece, il consulente assume un'obbligazione di mezzi. Lo sforzo di diligenza viene in rilievo di per sé, costituendo l'essenza stessa del comportamento esecutivo a prescindere dal risultato ottenuto, che potrebbe anche non seguire¹². In altri termini, il consulente si obbliga a porre in essere alcune specifiche attività di consulenza e monitoraggio che costituiscono, esse stesse, l'oggetto dell'incarico, indipendentemente dall'ottenimento della certificazione. Ancora, per ciò che attiene alle differenze importanti di ordine probatorio, l'obbligo di risultato sottrae le parti al regime precedentemente illustrato e disposto dall'art. 1218 c.c. e incentrato sull'inversione dell'onere della prova. Il committente, in tal modo, si vedrà costretto ad identificare la specifica negligenza del consulente, nell'ambito della procedura certificatoria, che integra l'inadempimento lamentato.

Ben diverso è il caso del certificatore di qualità, il quale si limita ad assumere due tipologie di obbligazioni: quella di eseguire l'attività di analisi e verifica della conformità (chiamiamola, fase istruttoria); e quella di elaborare, sulla base delle risultanze emerse nel corso della fase istruttoria, una decisione scritta sulla conformità o non conformità agli standard qualitativi, con conseguente emissione o rifiuto della certificazione.

2.4. La qualificazione giuridica della responsabilità e i danni patiti

Nel formulare alcune brevi considerazioni in relazione a due aspetti molto delicati del tema sinora affrontato – quello della qualificazione giuridica della responsabilità e quello del danno eventualmente patito – ci pare opportuno premettere che le tematiche meriterebbero valutazioni ben più approfondite che, purtroppo, la ristrettezza della trattazione non consente.

In relazione al primo tema proposto, si osserva innanzitutto che le criticità maggiori emergono con riguardo alla qualificazione giuridica della responsabilità del certificatore e, specificamente, relativamente a quella che può emergere nei confronti dei terzi che hanno fatto affidamento, e hanno subito danni, a causa di attestazioni di qualità inesatte in

capo al soggetto/bene certificato (si pensi, ad esempio, ai danni patiti dagli investitori a causa di vizi nella certificazione di un bilancio). Per tale figura, difatti, si è dibattuto a lungo sulla possibilità che l'inadempimento del certificatore possa configurare, oltre alla responsabilità che discende dalla violazione di clausole specifiche del contratto di certificazione, anche una responsabilità per informazioni inesatte.

Ricondurre tale responsabilità nell'alveo di quella contrattuale ovvero extracontrattuale comporta, come è facile intuire, importanti ripercussioni concrete:

- a. nel diverso regime probatorio: che impone al creditore, in caso di responsabilità contrattuale, la sola prova della fonte dell'obbligazione e dell'inadempimento (art. 1218 c.c.), mentre richiede la prova del danno ingiusto, del nesso di causalità tra il danno e la condotta del debitore, nonché la colpa o il dolo (art. 2043 c.c.);
- b. nel più o meno ampio termine di prescrizione: decennale, di regola, nella responsabilità contrattuale e quinquennale in quella extracontrattuale (artt. 2946 e 2947 c.c.);
- c. nel danno risarcibile: limitato, nella responsabilità contrattuale, ai danni che potevano prevedersi al momento in cui è sorta l'obbligazione (art. 1225 c.c.) ed esteso, nella responsabilità extracontrattuale, anche ai danni imprevedibili;
- d. nella possibilità di far ricorso a clausole di esonero della responsabilità: ammissibili (nei limiti del dolo e della colpa grave ai sensi dell'art. 1229 c.c. e dell'art. 33 del Codice del Consumo) unicamente per la responsabilità contrattuale¹³.

Ci limitiamo a osservare che il consulente LEED®, diversamente dal certificatore, non assume (di regola) obbligazioni nei confronti di terzi né è tenuto all'obbligo professionale di esatta informazione nei loro riguardi¹⁴. La responsabilità di questo soggetto, pertanto, può, a nostro avviso, essere inquadrata nell'ambito di quella contrattuale poiché è proprio sulla base delle obbligazioni assunte contrattualmente nei confronti di colui che ha conferito un incarico professionale al consulente LEED®, che può valutarsi l'eventuale inadempimento a danno del committente.

Infine, passando al tema dei danni patiti e risarcibili come conseguenza dell'inadempimento, si nota che, in entrambi i casi (certificatore e consulente LEED®), il danno patrimoniale è determinabile attraverso gli ordinari parametri del danno emergente e del lucro cessante previsti dall'art. 1223 c.c.¹⁵.

Soffermandoci sui danni sofferti dal committente in caso di rifiuto del GBCI di rilasciare la certificazione ambita, osserviamo che tale inadempimento (ammettendo che il consulente si fosse impegnato a far ottenere la certificazione) produce significativi danni economici che devono comprendere tanto la perdita subita dal creditore, quanto il mancato guadagno, che siano conseguenza immediata e diretta del non ottenimento della certificazione. Nello specifico:

- a. il danno emergente è quantificabile nei maggiori costi sostenuti dal committente per adeguare l'immobile agli standard LEED® senza successo. Non vi è dubbio, difatti, che lo scopo ultimo degli investimenti sia stato quello di ottenere la certificazione LEED®. In questa categoria potrebbero essere ricompresi gli eventuali danni all'immagine patiti dalla società committente che avesse già reso pubblico il suo impegno ad ottenere un data certificazione LEED® per il proprio progetto immobiliare;
- b. il lucro cessante. Sebbene più difficile da dimostrare in sede contenziosa tanto nell'*an* che nel *quantum*, sussistono pochi dubbi sul fatto che gli immobili certificati LEED abbiano un maggior valore di mercato. Il responsabile dell'inadempimento potrebbe pertanto doversi fare carico anche dei costi economici imputabili alla perdita di guadagno.

Note

- ¹ In particolare, le disposizioni della direttiva riguardano (art. 1, comma 2): «a) il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari; b) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari di nuova costruzione; c) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di: i) edifici esistenti, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti; ii) elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti; nonché iii) sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento; d) i piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero; e) la certificazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari; f) l'ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria negli edifici; e, g) i sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione».
- ² In attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- ³ Fine delle certificazioni di qualità (quale è la certificazione LEED®, che verifica la qualità dal punto di vista della eco-

sostenibilità di un immobile) è quello di attestare determinate caratteristiche concernenti l'organizzazione di un'azienda e/o ciò che essa produce.

- ⁴ Primo fra tutti, il fatto che la nostra ricerca verterà sui profili di responsabilità del soggetto che segue e coordina il processo di certificazione, fermo restando che la certificazione è rilasciata da un soggetto terzo (il GBCI). Al contrario, nel caso delle certificazioni di qualità è il professionista stesso a rilasciare la certificazione.
- ⁵ Elena Bellisario, *Certificazioni di qualità e responsabilità civile*, Giuffrè Editore, Milano 2011, p. 13.
- ⁶ Lorenzo Thione, *Il sistema italiano per la qualità*, in Pierangelo Andreini (a cura di), *Qualità, certificazione, competitività*, Hoepli, Milano 2004, p. 57.
- ⁷ Giorgio Caia, Fabio Alberto Roversi Monaco, *Amministrazione e privati nella normativa tecnica e nella certificazione dei prodotti industriali*, in Pierangelo Andreini, Giorgio Caia, Giacomo Elias, Fabio Alberto Roversi Monaco (a cura di), *La normativa tecnica industriale. Amministrazione e privati nella normativa tecnica e nella certificazione dei prodotti industriali*, il Mulino, Bologna 1995, p. 13.
- ⁸ Elena Bellisario, *Certificazioni cit.*, p. 19.
- ⁹ Alla luce di queste riflessioni, il sistema di certificazione LEED dovrebbe essere inteso quale strumento di certificazione degli standard di qualità tecnici e di eco-sostenibilità di un prodotto specifico (un immobile).
- ¹⁰ Elena Bellisario, *Certificazioni cit.*, p. 127.
- ¹¹ Ipotesi tutt'altro che rara. Soprattutto in Italia, dove il sistema di certificazione LEED® stenta ancora ad affermarsi in maniera definitiva e radicata, sono molti i professionisti che decidono coscientemente di curare interamente l'iter certificadorio, assumendo su di sé l'onere e il rischio di far ottenere la certificazione al committente.
- ¹² Francesco Gazzoni, *Manuale di diritto privato*, Napoli, XIV ed., 2009.
- ¹³ Elena Bellisario, *Certificazioni cit.*, pp. 208 sgg.
- ¹⁴ Al più si potrebbe sostenere che sia il committente ad assumere una responsabilità nei confronti dei terzi. Egli potrà, infatti, essere chiamato a risarcire i danni patiti dai terzi che abbiano fatto affidamento sulle sue dichiarazioni in tema di certificazione LEED®, laddove queste siano risultate non veritiere.
- ¹⁵ M. Marianello, *La responsabilità contrattuale dell'agenzia di rating nei confronti del committente*, in «Obbligazioni e Contratti», 2010, 4, 289; e M. Ambrosoli, *Il contratto di certificazione della qualità*, Trib. Monza Sez. IV, 4 febbraio 2004, in «Contratti», 2004, 8/9, 809.

A&RT

Un edificio LEED®: il nuovo Centro Direzionale Lavazza

A LEED® building: the new Lavazza Headquarter

Paolo Corradini, architetto, Direttore dei Rapporti Istituzionali presso il Gruppo Lavazza.

p.corradini@lavazza.it.

PAOLO CORRADINI

«A Torino c'è un'area dismessa, la ex centrale Enel a nord della Dora, che attende di essere trasformata per diventare il nuovo polo urbano di una zona in evoluzione. Il progetto per la nuova sede di Luigi Lavazza S.p.A. vuole donare una nuova forma a un luogo fisico – l'isolato collocato su largo Brescia – e a un luogo ideale, il mondo Lavazza».

Con queste parole Cino Zucchi, architetto e professore ordinario di composizione architettonica presso il Politecnico di Milano presenta il progetto da lui elaborato, vincitore del concorso per il nuovo centro direzionale Luigi Lavazza S.p.A. a Torino. Il progetto di Cino Zucchi è realizzato con Manens-Tifs S.p.A. che cura la progettazione impiantistica e la sostenibilità energetico ambientale della costruzione, Al Engineering S.r.l. che si occupa della progettazione strutturale e del project management, e Atelier G'art specialista per il verde. L'intento del gruppo di progetto è di creare uno spazio vivace e attrattivo, capace di ospitare la vita quotidiana di molte persone e di stimolare il dialogo costante tra un'azienda globale, i suoi dipendenti, i suoi clienti, il suo pubblico. Il nuovo disegno dell'isolato interpreta la situazione esistente e le sue risorse, trasformandola in un nuovo ambiente vitale in comunicazione continua con la città e con il paesaggio circostante.

La tematica, assolutamente attuale, connessa alla sostenibilità energetico-ambientale del costruito acquista concretezza attraverso la scelta, da parte delle Committenza, di perseguire il progetto di certificazione LEED® *Leadership in Energy and Environmental Design* di origine americana, e introdotto nel nostro Paese con una versione italiana il 14 aprile 2010 dal Green Building Council Italia.

«In the downtown of Turin there is an abandoned area, the Enel power station now disused, north of Dora River, that is going to be transformed to become the new urban center of an area undergoing great modifications.

The intent of the design team is to give a new shape to a physical place – the neighborhood located near Largo Brescia – and an ideal place, the Lavazza's word».

With these words, Cino Zucchi, architect and full time professor of architectural composition at the Polytechnic of Milan, introduce the design that won the competition for new Headquarter of Luigi Lavazza S.p.A. in Turin.

The design for the new headquarter of Luigi Lavazza S.p.A. signed by Cino Zucchi, in cooperation with Manens-Tifs S.p.A. as MEP and consultant for sustainability, Al Engineering S.r.l. as structural designer and project manager, and Atelier G'art as a specialist for the garden design.

The project creates a lively and attractive space, capable of hosting the daily lives of many people and to stimulate the ongoing dialogue between a global company, its employers, its customers, its audience. The new design of the neighborhood interprets the situation and its resources, transforming it into a new living environment in continuous communication with the city and the surrounding landscape.

Environmental issues concerning building design, construction and management, become a concrete choice by the client, who decide to pursue LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) certification, launched in US and introduced in our country with one Italian version on April the 14th, 2010 by Green Building Council Italia.

1. Il sito

La sede di un'azienda è l'ambiente quotidiano per le persone che vi lavorano, ma anche un luogo di scambio con la sua rete globale e con il pubblico. Lavazza è presente in tutto il mondo; la decisione di darsi una nuova sede a Torino sull'area della ex Centrale Enel in via Bologna è importante in molti sensi, sia concreti che "ideali". Il quartiere in oggetto è in fase di trasformazione, a due passi dal centro storico, con viste pregevoli sulla Mole Antonelliana, su Superga, sulle colline e sulle Alpi.

La rigenerazione dell'isolato deve quindi rispondere a tre obiettivi complementari: donare alla città una nuova presenza urbana di qualità; creare un ambiente di lavoro piacevole e diventare la rappresentazione fisica dell'identità in evoluzione dell'azienda.

La risposta deve riuscire a trasfigurare questi obiettivi in una forma sintetica, generando risonanze significative tra di essi. Come ogni trasformazione di un assetto esistente, il progetto deve cercare un equilibrio tra le nuove esigenze funzionali e la comprensione del contesto urbano. La sua consistenza fisica e i limiti dimensionali dati dall'isolato e dagli edifici va interpretata non come un vincolo, piuttosto come una risorsa preziosa capace di donare specificità e qualità al progetto, radicandolo nella città circostante.

La città è percepita oggi simultaneamente a diverse scale e secondo modalità complementari: nella sua dimensione territoriale, in quella del quartiere, dei suoi spazi interni, fino ai suoi dettagli e alle sue tessiture, che la rendono vibrante e unica.

Le situazioni urbane stratificate delle città italiane sono un grande stimolo per la cultura progettuale; l'esperienza maturata nella trasformazione di aree complesse fa superare l'atteggiamento puramente conservativo nei confronti degli edifici esistenti, per adottarne uno capace di valorizzarne le potenzialità nascoste e integrarle nel nuovo assetto.

Il progetto conserva gli edifici di valore testimoniale e li integra con cura nel nuovo schema, valorizzandoli senza "ingessarli". La parte di nuova edificazione cerca di dare vita a un'architettura nuova e stimolante, rispettosa dell'identità urbana che la città offre, che risponda con naturalezza alle esigenze del programma: un'architettura capace di interpretare le metamorfosi che l'intera area sta attraversando.

2. Il progetto

Il nuovo disegno del perimetro "rompe" i confini dell'isolato e indirizza i movimenti dei visitatori verso i nuovi spazi collettivi scavati in esso: la nuova piazza triangolare di ingresso su via Bologna e la nuova piazza in asse con via Parma si apre verso la città. La corte verde mette in relazione la sede Lavazza con la "Cattedrale", edificio storico e tutelato che viene conservato e animato dalle nuove attività collettive. Al piano terra del nuovo complesso

ad uffici l'atrio vetrato orienta i vari tipi di visitatori. Intorno ad esso trovano posto tutte le attività di comunicazione con il pubblico; i giardini tematici scavati nel basamento creano un affaccio tranquillo per gli spazi di relazione. Su via Pisa alcune rampe carrabili danno accesso ai parcheggi interrati riferiti ai singoli edifici, dividendo l'area in comparti autonomi senza sovrapposizioni.

I servizi, gli impianti e la distribuzione verticale sono racchiusi in quattro nuclei interni che innervano l'edificio a tutti i piani. Ai piani superiori del complesso Lavazza tutti gli spazi di lavoro si affacciano su grandi giardini pensili. La forma concava delle corti verdi affacciate sui giardini permette di schermare gli uffici, senza perdere il carattere estroverso del progetto che si apre al quartiere.

I movimenti si diramano dal centro collegando i diversi settori degli uffici in maniera efficiente e chiara. Lo schema distributivo dell'edificio fa dialogare le varie aree tra loro, accogliendone le diverse identità e il diverso rapporto con il pubblico.

Un attento studio delle dimensioni trasversali del corpo di fabbrica rende lo spazio di lavoro estremamente flessibile nel tempo e configurabile secondo le diverse esigenze. Le serre vetrate tra gli uffici creano un microclima di grande qualità ambientale che risponde al tempo e alle diverse stagioni portando a natura negli spazi di lavoro. Il terrazzo verde sulla copertura diventa uno spazio per eventi e per il relax.

Il disegno accurato dei volumi delle schermature solari, i tetti verdi e i giardini pensili, una serie di soluzioni tecniche all'avanguardia centrano in pieno i valori di sostenibilità e qualità ambientale oggi imprescindibili per un'azienda e il suo pubblico. I materiali e i ritmi delle facciate creano uno "sfumato" tra città e natura, riprendendo le scansioni delle vie di Torino e il carattere delle sue architetture d'eccezione. Il radicamento nella città non avviene con l'adozione di riferimenti superficiali, ma attraverso la comprensione del contesto immediato e allargato, dei suoi caratteri profondi, delle sue tessiture.

3. Gli ambienti di lavoro

Gli uffici ai piani superiori sono disegnati con cura, portando i servizi e le connessioni verticali verso il nucleo, e lasciando così libere tutte le aree contigue al perimetro dell'edificio per le attività che richiedono luce naturale.

Gli uffici affacciano sui giardini pensili del basamento verde. La forma concava delle corti di affaccio degli uffici permette di schermarli dalla vista diretta e dal rumore delle vie senza perdere il carattere estroverso del progetto, che si apre alla città e alle lunghe viste sulle montagne e verso la collina torinese.

I nuclei interni ospitano le scale a prova di fumo, gli ascensori, gli spogliatoi e i servizi igienici, le stanze *server* e per i quadri elettrici e generosi cavedi per gli impianti di areazione e trattamento aria collegati con gli interrati e

A&RT

con i locali per le U.T.A. collocati sul tetto.

La posizione baricentrica dei nuclei di servizio permette di dare vita a settori autonomi di lavoro completi di tutti gli ambienti necessari, oppure a mantenere una grande fluidità nei rapporti tra sezioni diverse. La porzione centrale dell'edificio, più profonda rispetto alle due maniche laterali, permette di ospitare nella parte centrale sale riunioni di diversa dimensione, archivi, postazioni di lavoro "non-territorial" o multi utente, zone ristoro o altre funzioni simili.

Tutti gli ambienti di lavoro collocati sul perimetro utilizzano al massimo la luce naturale e hanno un rapporto molto semplice con la distribuzione interna e con le pareti perimetrali. In generale, si è evitata ogni soluzione che implicasse la disposizione di postazioni di lavoro con luce

alle spalle, molto dannosa in presenza di schermi di computer, e si è privilegiata la posizione perpendicolare alla fonte di luce naturale.

Lo studio di soluzioni tipo, ottimizzate rispetto al posizionamento di elementi illuminanti, impianti, eventuali controsfinte da predisporre nei controsoffitti per le pareti mobili, etc., ha collaudato la correttezza delle decisioni generali sulla tipologia dell'edificio. Il verde è portato all'interno attraverso le grandi serre vetrate intercalate agli uffici, che diventano spazi di qualità visiva e microclimatica, contribuendo notevolmente alla "porosità" di un edificio che tesaurizza tutta l'esperienza di spazi simili per integrarla con una nuova visione "ambientale" degli spazi di lavoro.

Figura 1. Modello del progetto di concorso.

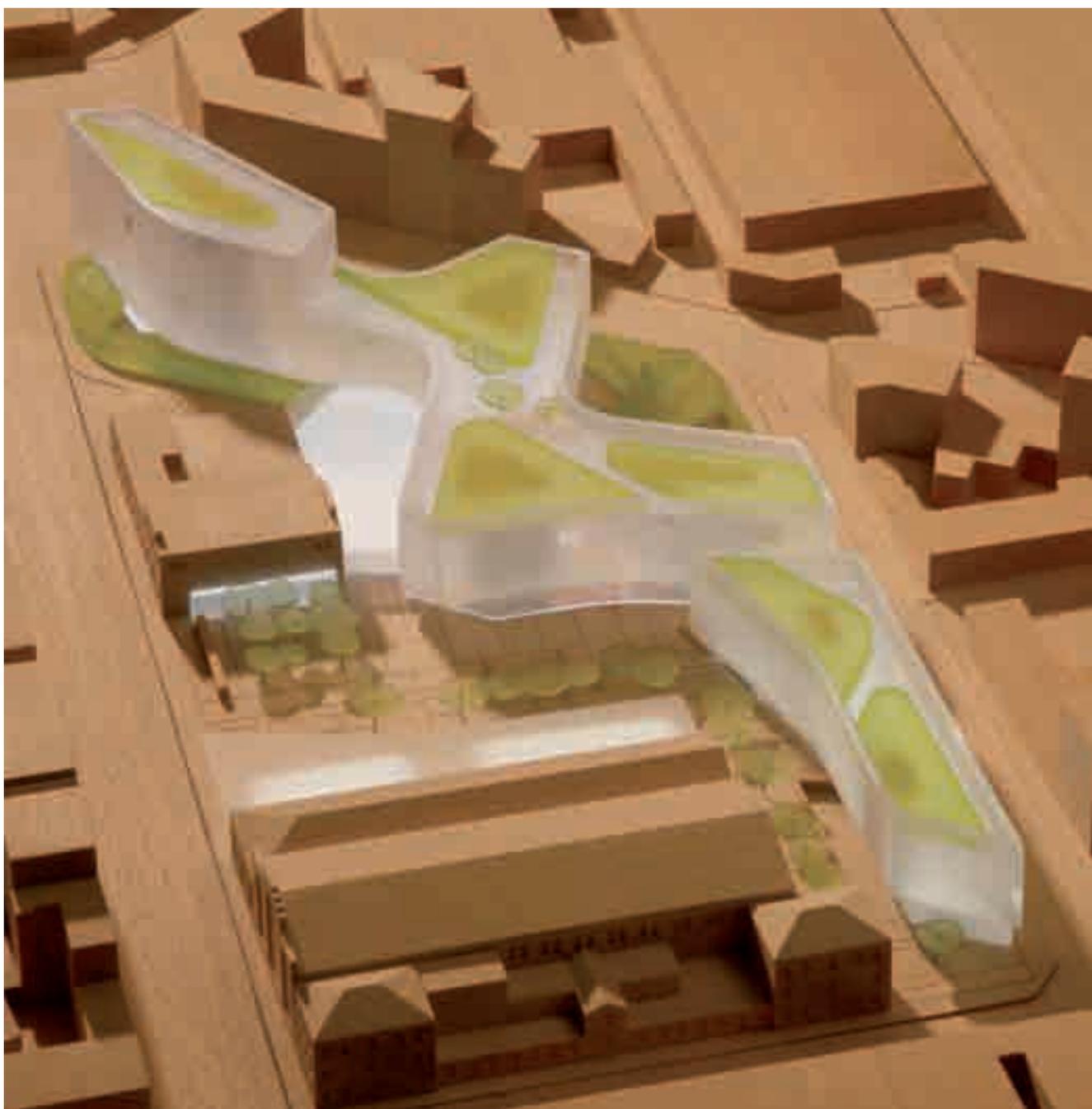




Figura 2. Immagine render dell'atrio.

Figura 3. Immagine render del progetto di concorso.



A&RT

4. La sostenibilità energetico-ambientale del progetto

Nonostante la parola “sostenibilità” risuoni oggi nei comunicati stampa e nelle relazioni di concorso con sempre maggiore frequenza, le svariate componenti che possono supportare le strategie progettuali volte a raggiungerne gli obiettivi sembrano spesso affrontate da un punto di vista puramente comunicativo. Spesso si tende a mettere in mostra elementi puramente esteriori o sovrastimare l'apporto delle energie alternative, mentre in realtà le grandi questioni sono risolte da una cura generale dell'intero processo, dal materiale grezzo all'edificio finito e al suo funzionamento quotidiano. L'edificio è studiato in funzione delle specificità climatiche secondo una visione integrata del progetto passivo, dello studio d'impianti ad alta efficienza e l'uso di energie rinnovabili. Da un lato lo studio delle situazioni climatiche specifiche del sito, dall'altro la definizione di strategie che rendono l'edificio efficiente dal punto di vista energetico (riduzione dei consumi) per le sue caratteristiche costruttive, infine lo studio di una soluzione impiantistica che garantisca l'uso di fonti rinnovabili e un corretto onere di gestione.

4.1. Riduzione dei fabbisogni di energia

Le analisi preliminari sulle strategie passive indicano che l'utilizzo di schermature in facciata consente risparmi sulle spese di raffrescamento sino al 30% rispetto ad un edificio non schermato. La facciata è quindi pensata come un sistema di elementi opachi e ombreggianti verticali che durante l'estate permettono una riduzione della radiazione incidente, mentre d'inverno garantisce l'entrata della giusta quantità di luce. L'involucro dell'edificio è studiato secondo un approccio dove materiali, forme, tecnologie e impianti sono accuratamente integrati in conformità a modelli di calcolo per l'ottimizzazione dei flussi termici, della ventilazione, del daylight, al fine di conseguire il massimo risparmio energetico, comfort visivo e termico. L'approccio progettuale punta a massimizzare l'apporto controllato di luce naturale evitando fenomeni di abbagliamento e di surriscaldamento degli spazi. Lo sfruttamento della luce naturale beneficia il comfort visivo, il benessere, la salute dell'utente, aumenta la capacità di concentrazione e contribuisce al risparmio di energia elettrica. L'edificio per uffici ha una profondità del corpo di fabbrica e una disposizione degli spazi di distribuzione verticali tali per cui più del 75% degli spazi potrà essere gestito senza l'utilizzo di illuminazione artificiale durante le ore di occupazione. La suddivisione interna degli spazi sarà caratterizzata da divisori translucidi o trasparenti per favorire la diffusione della luce e garantire la vista dell'esterno. Si persegue inoltre la ventilazione naturale all'interno degli edifici con lo scopo di creare ambienti più confortevoli, salubri e contemporaneamente ridurre i consumi di energia. La strategia sarà utilizzabile quando i valori di temperatura esterna e umidità saranno compatibili

con i parametri di comfort termico adattivo, in questo modo si potranno soddisfare circa il 15% delle ore annuali di occupazione senza spese di climatizzazione. La forma articolata dell'edificio e la limitata profondità del corpo di fabbrica sono studiate per sfruttare le possibilità di *cross ventilation* attraverso zone di pressione e depressione contrapposte sui diversi fronti.

L'edificio è concepito per sfruttare i carichi solari entranti nell'edificio durante la stagione invernale attraverso una maggiore permeabilità dei fronti esposti a sud. I carichi termici interni generati da computer e persone aiutano a diminuire i consumi per il riscaldamento invernale. Un involucro ben isolato e l'eliminazione di ponti termici diminuiscono ulteriormente i consumi. L'inverdimento dei tetti contribuisce a migliorare l'isolamento termico dell'edificio, limitando in particolare le escursioni termiche. Il miglioramento delle temperature all'interno degli uffici si traduce in una diminuzione dei costi energetici. Le dispersioni di calore nei mesi invernali possono diminuire del 50%. In estate, invece grazie all'ombreggiamento ed alla evapotraspirazione è possibile registrare una diminuzione di temperatura di 3-4°C rispetto alla temperatura dell'aria esterna. Oltre al maggiore isolamento termico, ne deriva che il verde determina minori dilatazioni e contrazioni dei materiali isolanti e di conseguenza una durata maggiore dello strato impermeabilizzante. Infine determina la gestione delle acque: la presenza di terriccio e di vegetazione al di sopra delle superfici impermeabili, permette il recupero di buona parte delle precipitazioni piovose e la loro reintroduzione, grazie all'evapotraspirazione, nel ciclo biologico dell'acqua, con il conseguente alleggerimento del carico gravante sul sistema fognante cittadino.

4.2. Sistemi impiantistici

La produzione di energia termica e frigorifera è garantita da pompe di calore reversibili in freddo alimentate da acqua di falda. La temperatura degli strati acquiferi, infatti, è sostanzialmente costante durante l'anno (12- 14 °C). Nel periodo invernale la temperatura dell'acqua di falda è più calda della temperatura media dell'aria esterna, viceversa, nel periodo estivo la temperatura dell'acqua di falda è più fredda della temperatura media dell'aria esterna. Durante la stagione invernale o medio stagionale, l'acqua viene estratta da pompe ad immersione a portata variabile (in funzione del fabbisogno energetico istantaneo), viene filtrata, fatta transitare attraverso uno scambiatore di calore e poi viene reimpressa in falda ad una temperatura leggermente inferiore. Il passaggio attraverso lo scambiatore permette di cedere calore all'acqua del circuito interno all'edificio e di evitare qualsiasi contaminazione delle acque prelevate.

Durante la stagione estiva, invece, il ciclo viene invertito. Le pompe di calore reversibili permettono di sfruttare questa energia in modo ottimale e di minimizzare gli

spazi delle centrali tecnologiche e di evitare l'installazione apparecchiature rumorose all'esterno (gruppi raffreddati ad aria o torri evaporative). L'acqua di falda diviene in questo modo fonte di energia termica e frigorifera per il raffrescamento ed il riscaldamento degli ambienti. Questa tecnologia permette di avere alte efficienze (COP pari circa a 6 con una differenza di temperatura tra sorgente calda/fredda pari a 40°C).

Il fabbisogno di energia elettrica è parzialmente soddisfatto da pannelli solari fotovoltaici posizionati sulla pensilina esterna. L'energia prodotta dai pannelli, oltre ad essere utilizzata in situ e scambiata il rete può ricaricare le auto elettriche a servizio del complesso. Il comfort degli occupanti negli ambienti interni è garantito da un sistema di climatizzazione ad alta efficienza, da un appropriato sistema di illuminazione naturale e artificiale. Il riscaldamento ed il raffrescamento è garantito da un sistema a pannelli radianti a soffitto modulari facilmente adattabile alle variazioni di lay-out interno.

Questo sistema migliora il comfort degli occupanti, perché è alimentato a bassa temperatura e non genera correnti d'aria. L'aria primaria necessaria per il controllo dell'umidità ed il ricambio igienico è immessa da diffusori lineari perimetrali e ripresa da feritoie inserite nel controsoffitto. I pannelli radianti a soffitto hanno inoltre bisogno di pochissima manutenzione in quanto sono dispositivi statici (non abbiamo motori e ventole in movimento). Un altro vantaggio è il contenuto livello acustico che questo sistema genera. Il comfort luminoso è garantito da un sistema di schermatura controllato e da un sistema di illuminazione modulante con lampade antiriflesso a basso consumo controllate in funzione dell'illuminazione esterna e della presenza di persone.

5. La sostenibilità all'interno del processo: il processo di certificazione LEED®

La questione ambientale connessa alla costruzione edile richiede una profonda riflessione connessa alla necessità di prendere concretamente coscienza della necessità di un cambiamento nella direzione di strategie, *policy*, ed approcci *green*.

Luigi Lavazza S.p.A. si è mossa in questa direzione definendo un documento, alla base del processo di progettazione del nuovo centro direzionale, denominato *Linee Guida per l'Architettura Coordinata Lavazza*, che include un capitolo dedicato alla sostenibilità energetico ambientale. Tale documento, oltre a fornire efficaci indicazioni connesse alla progettazione di spazi Lavazza, abbraccia anche la tematica del risparmio energetico e della compatibilità ambientale del costruito, includendo la volontà di perseguire una certificazione di sostenibilità per il futuro complesso direzionale. Il modello di certificazione

scelto è il sistema LEED®.

La disponibilità sul mercato di strumenti adeguati quali il sistema LEED® e professionalità competenti costituisce un supporto valido a chi persegue tali obiettivi. LEED® in particolare, essendo uno strumento riconosciuto a livello internazionale, costituisce un efficace viatico per comunicare il risultato di sostenibilità conseguito.

La mitigazione dell'impatto ambientale da effetto serra antropico diretto e indiretto, in risposta alle attuali emergenze energetica ed ambientale, è ormai diventato il principale e ineludibile fattore che deve guidare la progettazione integrata degli edifici e dei relativi impianti tecnologici, senza naturalmente sacrificare il benessere (termoigrometrico, illuminotecnico, acustico e visivo) degli occupanti. Il contenimento dei consumi energetici è comunque soltanto uno degli aspetti ambientali connesso con la realizzazione delle nuove costruzioni.

Spesso infatti si trascurano aspetti non evidenti quali: inquinamento atmosferico dovuto al trasporto di persone e materiali, occupazione del suolo, inquinamento luminoso, riduzione della superfici drenanti e quindi della possibilità di ricaricare le falde acquifere mediante acque meteoriche, energia inglobata nei materiali da costruzione, inquinamento indotto dall'utilizzo di materiali non riciclabili o dannosi per l'atmosfera o le persone. In questo senso, è fondamentale accompagnare l'iter progettuale di ogni edificio con uno strumento di verifica e controllo che permetta di valutarne l'impatto ambientale, tramite analisi di tutti gli aspetti connessi con l'inquinamento e il consumo di risorse, ma anche della vivibilità dell'edificio nel suo complesso. A riguardo, il sistema di certificazione più affidabile e collaudato è il sistema LEED®. Questo sistema promuove un approccio integrato alla sostenibilità misurando le prestazioni in sei macroaree ambientali nel seguito elencate:

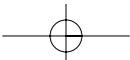
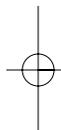
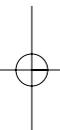
- sostenibilità del sito;
- gestione efficiente delle acque;
- energia e ambiente;
- materiali e risorse;
- qualità ambientale interna;
- innovazione del progetto.

Dalla prevalutazione eseguita, basata sul protocollo LEED® Italia 2009, si evince che l'edificio può perseguire un livello di certificazione Gold. Il punteggio è comunque cautelativo poiché ad alcuni crediti è stato assegnato punteggio zero data la fase preliminare di progetto (es. siti, materiali).

L'impostazione proposta evidenzia come l'obiettivo di sostenibilità richieda un percorso strutturato e controllato, che necessita di strumenti adeguati, di professionalità competenti e di valori riconoscibili.



A&RT



L'innovazione tecnologica per gli involucri edilizi
Prodotti, sistemi, casi di studio
*Technical evolution of building envelopes
Products, systems and case studies*



A&RT

Introduzione

Foreword

L'impatto significativo del settore edilizio sui consumi energetici e le relative emissioni di gas serra hanno reso necessaria l'approvazione di una nuova e più severa normativa sull'uso dell'energia negli edifici. Il Recast della Direttiva Europea sulla Performance Energetica degli Edifici del 2010 [EPBD 2010/31/EU] stabilisce che dal 2020 tutti i nuovi edifici (dal 2018, per quelli pubblici) debbano essere "nearly Zero Energy Buildings" (nZEB). Il ruolo svolto dall'involucro edilizio è riconosciuto come cruciale. Nella relazione introduttiva, Marco Perino evidenzia la necessità di un cambiamento di interpretazione ed implementazione del concetto di involucro edilizio, da chiusura, intesa come scudo/barriera/protezione a pelle, intesa come membrana responsiva ed adattiva alle variabili condizioni al contorno. La domanda che si pone è infatti la seguente: *un buon livello di isolamento termico (promosso e imposto da molti anni in diversi paesi attraverso incentivi, norme, leggi) ha consentito di migliorare in modo sostanziale l'efficienza energetica degli edifici e di ridurre i consumi energetici per ciò che concerne il riscaldamento, ma cosa accadrà agli edifici di domani spingendo semplicemente questa politica di sviluppo al limite?* Attraverso l'analisi di un caso studio evidenzia come un'implementazione molto spinta di misure per il risparmio energetico basate su tecnologie tradizionali non sia ormai una strategia molto efficace e individua quindi i trend di sviluppo più promettenti.

Nella relazione successiva Valentina Serra presenta un breve excursus sull'evoluzione che ha riguardato le soluzioni di involucro opaco e trasparente presenti sul mercato negli ultimi dieci anni, evidenziandone le potenzialità in termini di performance energetica e gli attuali limiti ad una più estesa ed efficace applicazione.

Seguono quindi due focus tematici relativi a sistemi di involucro relativamente innovativi nell'ambito italiano e che stanno suscitando sempre più l'interesse degli operatori del settore, quali i sistemi Struttura/Rivestimento (S/R) leggeri e assemblati a secco e gli involucri verdi. Nello specifico Gabriele Maserà descrive i sistemi S/R e ne evidenzia i principali vantaggi, dalla rapidità esecutiva, alla potenziale prefabbricazione degli elementi tecnici, alla facilità di smontaggio e riciclaggio dei materiali. Elena Montacchini introduce il sistema tecnologico del verde verticale e, attraverso la descrizione delle funzioni ambientali svolte dagli involucri verdi, la sintesi delle soluzioni tecnologiche attualmente disponibili e la verifica degli aspetti normativi, ne mette in evidenza le principali linee di ricerca e di sperimentazione. Dalle soluzioni tecniche innovative si passa quindi ad una analisi delle nuove direttive nel settore dell'efficienza energetica, con particolare attenzione alle certificazioni di prodotto e agli aspetti energetico-ambientali. Roberto Giordano, nella sua relazione, definisce gli indicatori attraverso i quali valutare l'ecocompatibilità di un prodotto edilizio e l'impatto che si può attribuire alla fase di produzione fuori opera o alla fase di smaltimento, rispetto alla cosiddetta fase di esercizio.

Il punto di vista degli operatori del settore più direttamente coinvolti da questa evoluzione dell'involucro edilizio, è rappresentato attraverso tre relazioni: una di un'azienda di serramenti e due di progettisti. Massimiliano Fadin per Fresia Alluminio racconta come l'evoluzione normativa in ambito energetico ambientale abbia accelerato il processo di ricerca e sviluppo e come il mondo del serramento sia stato costretto a trasformarsi, sia per rispondere in modo conforme alle richieste normative provenienti dalle politiche di contenimento dei consumi energetici, che per uniformarsi agli altri componenti dell'edilizia nel processo di adeguamento alla Marcatura CE.

Infine le relazioni di Claudio Perino, per Torpego Architetti e di Carlo Micono per AI Engineering, attraverso l'illustrazione di casi studio, rispettivamente relativamente ad un prefabbricato per uffici in legno locale con l'utilizzo di PCM e ad edifici con involucri trasparenti complessi ad elevata efficienza energetica, evidenziano la necessità di un processo progettuale fortemente integrato per garantire l'efficacia delle soluzioni tecniche individuate.

Valentina Serra

Il ruolo dell'involucro nell'edificio a basso consumo energetico

The role of energy-efficient building envelope

MARCO PERINO, LORENZA BIANCO

La necessità di realizzare con l'involucro edilizio uno scudo protettivo rappresenta un concetto antico quanto la specie umana. La chiave tradizionale di interpretazione ed implementazione del concetto di involucro edilizio è stata quella di enfatizzarne la funzione di scudo/protezione. Un buon livello di isolamento termico ha consentito di migliorare in modo sostanziale l'efficienza energetica degli edifici e di ridurre i consumi energetici per ciò che concerne il riscaldamento, ma cosa accadrà agli edifici di domani spingendo semplicemente questa politica di sviluppo al limite? Per rispondere a questa domanda vengono presentati i risultati di un intervento di riqualificazione energetica di un edificio a destinazione uffici a Torino. Lo studio si muove dalla valutazione del peso dell'involucro edilizio sul bilancio energetico complessivo dell'edificio fino alla descrizione dell'evoluzione del concetto e delle funzioni dell'involucro dall'idea di barriera o scudo fino al concetto di una "pelle" responsiva in grado di adattarsi alle condizioni climatiche del contesto.

Marco Perino, professore ordinario di Fisica Tecnica Ambientale, Politecnico di Torino.
marco.perino@polito.it

Lorenza Bianco, architetto, dottoranda di Innovazione tecnologica per l'ambiente costruito presso il Politecnico di Torino.
lorenza.bianco@polito.it

The need to realize protective building envelope is a concept as old as the human species. The traditional interpretation of building envelope concept has been to emphasize the function of shield/protection. A good level of thermal insulation has improved building energy efficiency and reduced energy consumption for heating, but what will happen to future buildings simply pushing this policy to the limit? In order to answer this question, it is presented the results of an offices building energy renovation in Torino. The article starts evaluating the weight of the building envelope on the total energy balance of the building. It is then described the evolution of the component from being a barrier for the building to be an active and responsive skin.

Introduzione

L'involucro edilizio costituisce l'effettiva separazione tra l'ambiente esterno e l'ambiente interno, con la funzione di garantire un adeguato livello di comfort ed assicurare una ottimale efficienza energetica. Le moderne facciate sono il risultato di un'evoluzione tecnologica che si è sviluppata lentamente nel corso dei millenni, ma che ha visto una brusca accelerazione nell'ultimo secolo. La funzione basilare tradizionalmente assegnata all'involucro edilizio, è stata quella di creare uno spazio confinato e proteggere l'ambiente interno – condizionato – dalle intemperie e dalle sollecitazioni di un ambiente esterno ostile. La necessità di realizzare uno scudo protettivo rappresenta un concetto antico quanto la specie umana¹. Pertanto per millenni all'involucro edilizio ed ai suoi componenti (pareti, facciate, coperture, finestre, porte...) è stato assegnato il compito primario di creare un effetto "barriera", "scudo" che permettesse di disaccoppiare quanto più possibile le condizioni climatiche esterne da quelle interne, esaltando la capacità di separazione e le proprietà di isolamento e "impermeabilizzazione" in senso lato

A&RT

dei componenti². Conseguentemente, nel corso della storia, almeno nei paesi industrializzati, l'involucro edilizio è stato prevalentemente realizzato mediante massicce pareti opache punteggiate da poche e piccole aperture trasparenti. In tal modo si poteva risolvere, con un solo componente, sia il problema della resistenza meccanica che quello di fornire una sufficiente protezione termica. La presenza di una struttura muraria ad elevata inerzia termica consentiva un efficace effetto di accumulo di calore e la resistenza termica, pur se non ottimale, era almeno adeguata alla qualità ambientale richiesta all'epoca. Nei secoli questa architettura tradizionale si è evoluta sia in termini di materiali che di tecniche costruttive, ma è rimasta fedele ai propri canoni progettuali senza presentare alcuna radicale innovazione sino alla soglia del XX secolo. Con le teorie del Modernismo si afferma una corrente di pensiero architettonico in cui cambia profondamente sia l'atteggiamento verso la forma che la tecnologia dell'involucro edilizio. Grazie a questa innovazione culturale, ed al miglioramento e industrializzazione dei processi costruttivi, si sono iniziati ad utilizzare materiali diversi e più evoluti (acciaio, calcestruzzo, vetro...); ciò ha consentito di "smaterializzare" le superfici dell'involucro edilizio, separando le funzioni di resistenza meccanica dalle altre funzioni (termica, protettiva...). Le facciate tradizionali - solide, compatte, massive - possono ora essere "forate" ed alleggerite con superfici "incorporee" e trasparenti, la cui estensione è via via aumentata sino a rimpiazzare quasi completamente, in certi casi, le superfici opache. Le massicce facciate opache degli edifici storici - "scuri", pesanti - sono man mano sostituite da strutture trasparenti, leggere e dall'aspetto moderno. Grazie a queste caratteristiche innovative ed all'introduzione della tecnologia *curtain-wall*, l'impiego di

facciate completamente trasparenti è divenuto molto popolare sin dai primi anni '50. Tuttavia, durante questa fase i progettisti e gli architetti, spinti dalla corrente modernista, sono stati più attenti agli aspetti formali della nuova architettura che non alle implicazioni energetiche e di comfort termo igrometrico interno. Le aspirazioni ad una architettura "internazionale", e la rincorsa a modelli proposti dagli architetti più in voga, hanno portato a sviluppare progetti nei quali le realtà climatiche locali non erano tenute in alcun conto. A seguito di questo atteggiamento, gli edifici così realizzati hanno spesso mostrato prestazioni pessime in termini di consumi energetici per la climatizzazione e condizioni di qualità ambientale interna. Le ampie superfici vetrate, frequentemente costituite da lastre singole di vetro chiaro, hanno dato origine a dispersioni inaccettabilmente alte nelle stagioni di riscaldamento ed a carichi solari abnormi nel periodo estivo, essendo le schermature solari spesso carenti o assenti. Per mitigare (ma non certo per risolvere) tali problematiche la soluzione spesso adottata è stata di installare sistemi di climatizzazione sovradimensionati, il cui utilizzo se da una lato consente, almeno da un punto di vista del mero bilancio energetico, di controbilanciare gli eccessivi carichi solari, dall'altro non permette di risolvere adeguatamente gli aspetti di comfort termo igrometrico. In tali casi, infatti, resta pressoché invariato il problema delle temperature radianti eccessivamente alte o basse della facciata trasparente a cui si aggiunge il rischio di disturbi da correnti d'aria (Draft Risk) a causa delle grandi portate d'aria condizionata necessarie per controbilanciare i carichi ambiente.

Il crescere dei costi dell'energia, la presa di coscienza delle problematiche ambientali e, non da ultimo, l'insoddisfazione

	Superficie utile [m ²]	Volume netto [m ³]	Numero di piani	Altezza [m]	Superficie della facciata [m ²]
edificio A	12.000	36.200	6	22	5.300
edificio B	13.000	56.500	4	20	5.700

Tabella 1.

Figura 1. Facciata dell'edificio e immagini delle finestre e del sistema di schermatura con veneziane.



degli utenti (costretti a vivere ed operare in edifici dall'aspetto senz'altro moderno, ma non confortevoli) hanno poi spinto verso i successivi passi nell'evoluzione del concetto di involucro trasparente. Alla luce di queste considerazioni è lecito domandarsi se occorra una ulteriore evoluzione del concetto di involucro, e se sì, quale deve essere la direzione verso cui muovere.

La chiave tradizionale di interpretazione ed implementazione del concetto di involucro edilizio è stata – come visto – quella di enfatizzare la funzione di scudo/barriera/protezione. Quanto più si realizzava un ambiente interno disconnesso e isolato dall'ambiente esterno tanto migliori erano considerate le prestazioni del componente. Questa filosofia progettuale e di ricerca ha portato, e porta, ad incrementare sempre più le proprietà di isolamento termico, tenuta all'aria e tenuta al vapore dei componenti di involucro, ma tale approccio appare non essere più adeguato, specie alla luce delle esigenze che oggi stanno maturando ed in futuro saranno una necessità.

Indubbiamente un buon livello di isolamento termico (promosso e imposto da molti anni in diversi paesi attraverso incentivi, norme, leggi) ha consentito di migliorare in modo sostanziale l'efficienza energetica degli edifici e di ridurre i consumi energetici per ciò che concerne il riscaldamento, ma cosa accadrà agli edifici di domani spingendosi semplicemente questa politica di sviluppo al limite?

Per rispondere a questa domanda è interessante presentare i risultati di un intervento di riqualificazione energetica di un edificio a destinazione uffici sito a Torino. L'edificio (Tabella 1) ospita un centro di raccolta dati, ed è costituito da due corpi principali esposti Est-Ovest (edificio A) e Nord-Sud (edificio B).

La costruzione dell'edificio risale agli anni '70 e presenta una struttura verticale in acciaio e partizioni orizzontali in cemento. L'involucro dell'edificio è interamente vetrato e la facciata è scandita da moduli trasparenti e opachi. Gli elementi vetrati sono costituiti da finestre con una veneziana integrata nell'intercapedine tra i due vetri. Il pannello opaco

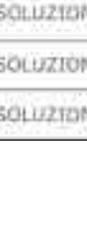
è costituito da un elemento vetrato dipinto ed isolato con un pannello. L'edificio presentava evidenti segni di degrado e obsolescenza, in particolare si rilevava una bassa tenuta all'aria e all'acqua dei serramenti, un basso valore di isolamento termico e un insoddisfacente funzionamento degli elementi schermanti. La richiesta della committenza era quella di analizzare diverse soluzioni di intervento convenzionali al fine di valutare la convenienza economica dell'intervento di riqualificazione della facciata. Il primo passo nella determinazione di diversi scenari di intervento è stato quello di considerare l'influenza della percentuale di area vetrata (A_v nella Figura 2) sulle dispersioni termiche e sui guadagni solari e si sono definite tre possibili soluzioni (1, 2, 3) che sono state declinate con tre diverse configurazioni della parte vetrata (A, B, C).

Nell'edificio analizzato l'aspetto del comfort visivo è stato considerato in modo specifico data l'attività degli utenti a video terminale. In questo senso la scelta più corretta sarebbe prevedere un sistema di schermatura esterna in grado di evitare completamente l'ingresso della componente solare diretta.

Di particolare interesse era la valutazione del peso dell'involucro edilizio sul bilancio energetico complessivo dell'edificio e attraverso diverse simulazioni dinamiche è stato possibile indagare l'impatto delle soluzioni proposte. I risultati sono stati comparati con i valori ottenuti dalla diagnosi energetica dell'edificio.

Nella Figura 3 sono rappresentati i risultati dei calcoli che mostrano le differenze tra l'energia sensibile per il riscaldamento e il raffrescamento per le possibili soluzioni, escludendo il contributo per ventilazione. Dai grafici è possibile notare come tutte le soluzioni riducano il fabbisogno di energia per il riscaldamento (ad es. edificio A: valore *ante operam* 62,7 kWh/m², valore *post operam* intorno ai 38 kWh/m²). Si osserva un notevole incremento prestazionale sostituendo la facciata esistente con una delle configurazioni proposte. Nel complesso le diverse soluzioni forniscono

Figura 2. Schema delle proposte di intervento.

		1	2	3
A	Doppio vetro selettivo e basso emissivo (6/12/6) senza sistema schermante. $U=1,7$ W/m ² K $g=0,23$ $TL=0,5$	Modulo completamente vetrato ($A_v/A_{tot}=90\%$) 	Modulo bipartito ($A_v/A_{tot}=65\%$) 	Modulo tripartito ($A_v/A_{tot}=45\%$) 
B	Doppio vetro basso emissivo (6/12/6) con tenda esterna a rullo. $U=1,7$ W/m ² K $g=0,6$ $TL=0,75$ $TS=0,07$ $RS=0,55$			
C	Doppio vetro basso emissivo (6/12/6) con veneziana esterna. $U=1,7$ W/m ² K $g=0,6$ $TL=0,75$	SOLUZIONE 1.A SOLUZIONE 1.B SOLUZIONE 1.C	SOLUZIONE 2.A SOLUZIONE 2.B SOLUZIONE 2.C	SOLUZIONE 3.A SOLUZIONE 3.B SOLUZIONE 3.C

A&RT

mediamente prestazioni molto simili e apparentemente l'intervento di riqualificazione sembra molto efficace.

Tuttavia il carico termico sensibile sull'ambiente considerato rappresenta solo una delle voci che concorrono a formare la domanda per il riscaldamento ed il raffrescamento: l'influenza delle facciate sull'intera domanda energetica per la climatizzazione deve essere definita con chiarezza per poter formulare un giudizio equilibrato. Per questo motivo, per valutare in modo realistico le alternative di intervento, si sono considerati i fabbisogni energetici per la ventilazione. Si può notare che il fabbisogno di energia per riscaldamento diminuisce, ma per il fabbisogno di energia per raffrescamento non si registrano interessanti miglioramenti (Figura 4). Dal punto di vista puramente economico l'intervento sull'involucro non è favorevole. Oltre all'aspetto economico è importante evidenziare i

vantaggi che l'intervento può fornire all'edificio in termini di comfort (termico, visivo e acustico), di immagine della firma che ospita e di manutenzione.

Dall'esempio di questo caso studio si può evidenziare che un'implementazione molto spinta di misure per il risparmio energetico basate su tecnologie tradizionali non è ormai una strategia molto efficace. Le prestazioni in termini di isolamento termico, pur se ancora migliorabili, hanno dunque raggiunto livelli molto buoni, specie in considerazione dell'entità dei flussi energetici dispersi per trasmissione che attualmente incidono sul bilancio complessivo dell'edificio. Per contro altre problematiche e voci di carico termico iniziano ad assumere una maggior rilevanza in termini di spesa energetica per il controllo climatico negli edifici (ad esempio la ventilazione). Le linee di sviluppo basate su tecnologie tradizionali hanno

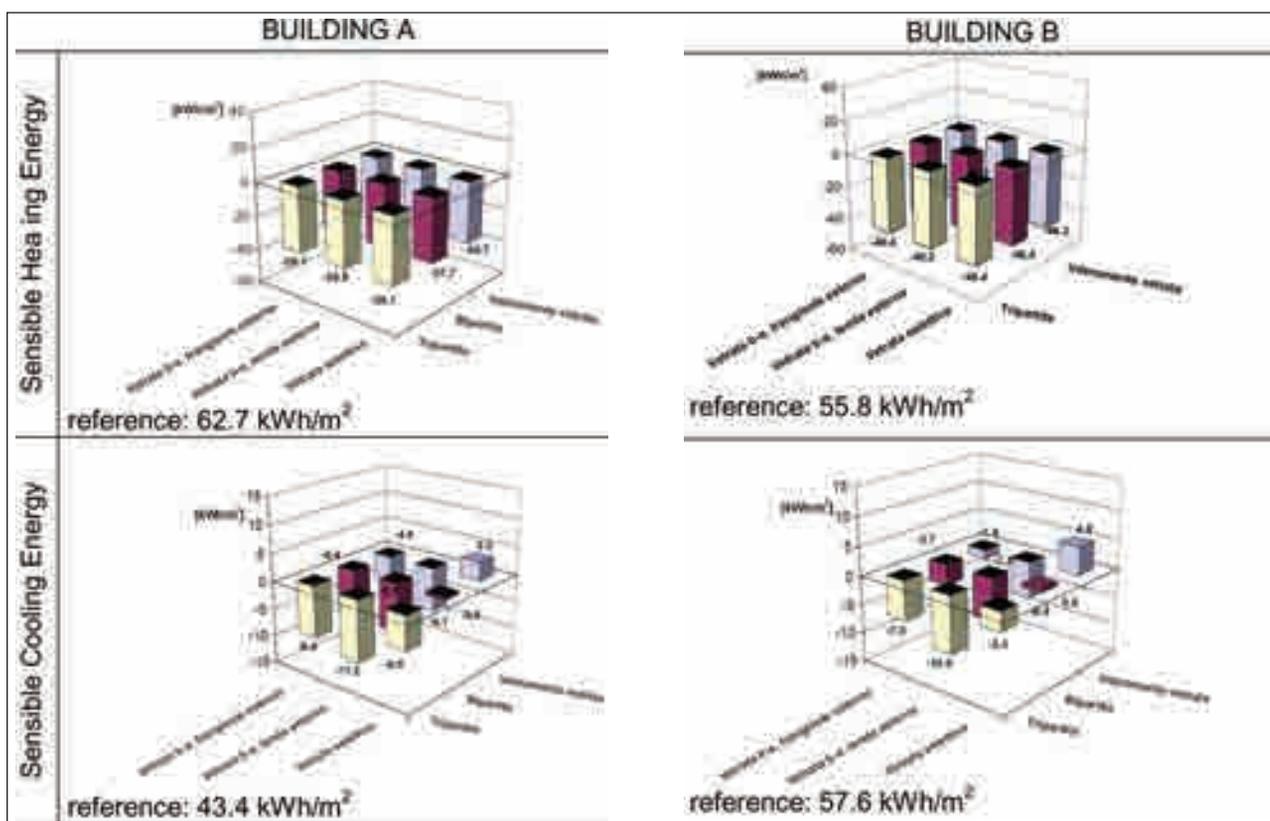
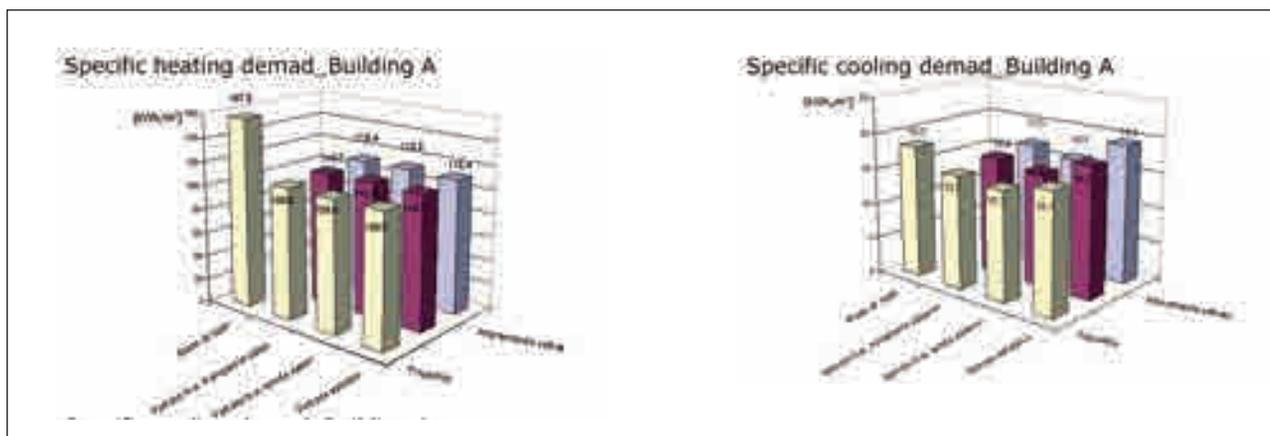


Figura 3. Risultati dei calcoli, differenze tra l'energia sensibile per il riscaldamento e il raffrescamento.

Figura 4. Risultati dei calcoli, fabbisogno specifico di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, edificio A.

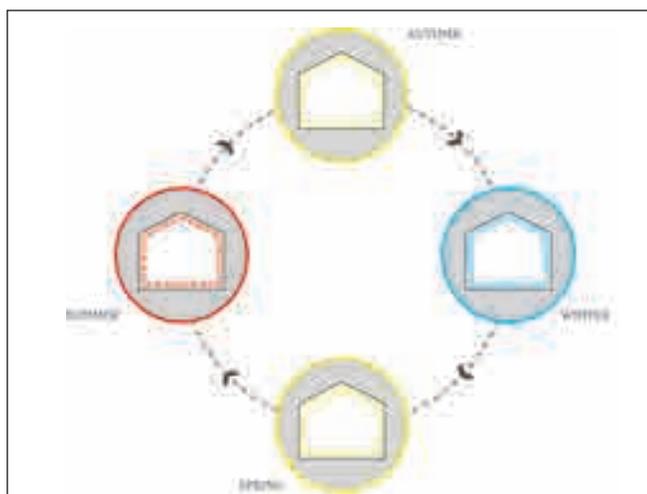


permesso e permettono in parte di ridurre in modo efficace i consumi energetici, ma solo ad oggi e nel breve periodo. Infatti, come visto, si è ormai giunti ad un punto in cui gli ulteriori possibili miglioramenti prestazionali saranno marginali e comparativamente piuttosto costosi (per cui ne diminuirà la convenienza economica). È stato dimostrato come anche spingendo al limite l'applicazione delle strategie per l'efficienza energetica sinora esplorate si può ottenere al massimo un miglioramento delle prestazioni energetiche del 50%³. Per superare questi limiti è necessario rivoluzionare l'approccio al problema e far evolvere il concetto. L'asserto tradizionale per cui "le costruzioni" sono un qualcosa che è per definizione, fisso, immutabile, che non cambia di posizione, di caratteristiche, proprietà, funzioni e comportamento inizia ad essere fortemente limitativo e insoddisfacente. Ovvero, l'approccio "one-size-fits-all" sinora utilizzato non funziona più così bene, specie oggi in una era in cui la sostenibilità energetica spinge sia i progettisti che gli utenti a cercare vie per rendere gli edifici più efficienti e, letteralmente, più "intelligenti"⁴.

Oggi l'involucro edilizio non deve più essere inteso come un "problema", una "difficoltà" ma deve essere considerato come una "opportunità", una "potenzialità" e una "sfida". L'involucro edilizio, più che come un "componente", una struttura dell'edificio, dovrà essere considerato come un luogo, una collocazione spaziale, che offre un'enorme interfaccia con l'ambiente esterno e può, dunque, ospitare agevolmente tecnologie per lo sfruttamento delle energie rinnovabili (non-carbon) e/o energie di basso pregio (a bassa exergia). La strada per l'innovazione che oggi appare più promettente consiste nel non considerare più il componente di involucro come una barriera, uno scudo, una separazione, ma come una membrana "vivente", dinamica, responsiva, adattabile alle diverse necessità e capace di integrare e svolgere funzioni diverse.

Questa evoluzione nel concetto e delle funzioni dell'involucro

Figura 5. Schema del comportamento adattivo di un edificio.



determinano un passaggio dal concetto di involucro/barriera/scudo al concetto di "pelle", come schematicamente rappresentato in Figura 5.

Le parole chiave che dovranno guidare lo sviluppo futuro dell'involucro sono pertanto:

- responsività;
- intercambiabilità;
- adattabilità;
- comportamento dinamico (active response);
- integrazione/interattività;
- accoppiamento con tecnologie RES;
- armonizzazione (tuning) con l'ambiente esterno.

In questa visione, come anticipato, occorre considerare l'involucro come una risorsa e una locazione spaziale dove inserire ed integrare diverse funzioni e sottosistemi impiantistici. Per poter soddisfare le esigenze poste da questi nuovi concetti, la ricerca e lo sviluppo dovranno focalizzarsi su:

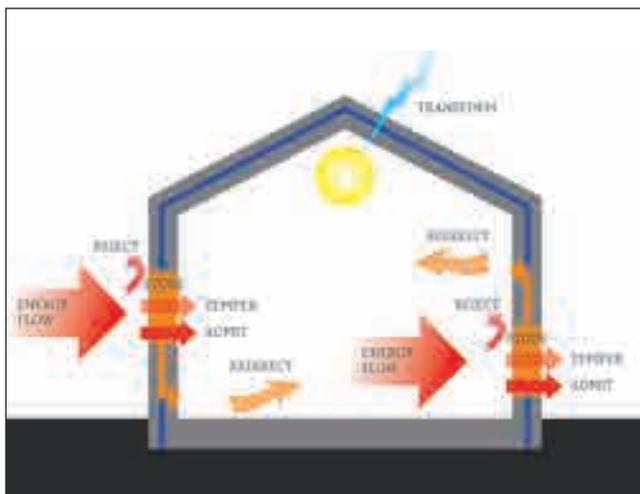
1. ottimizzazione e miglioramento prestazionale di soluzioni tecnologiche esistenti;
2. sviluppo di nuove tecnologie e uso di materiali innovativi;
3. ideazione e sviluppo di nuovi concetti e sistemi in cui l'edificio e gli impianti sono strettamente integrati fra loro.

In relazione al primo punto, si mira ad incrementare ulteriormente la capacità di isolamento termico dei componenti oggi disponibili sul mercato, affinando le tecnologie produttive, migliorando l'affidabilità dei componenti e limitando i costi. Tuttavia, la reale innovazione è attesa in relazione ai punti 2 e 3.

Esempi di nuove tecnologie per l'involucro

Gli involucri di facciata attivi (ABE active building envelope) rappresentano una nuova tecnologia di involucro che utilizza l'energia solare per compensare direttamente, passivamente e localmente dispersioni e guadagni termici

Figura 6. Schema concettuale delle funzioni/azioni richieste all'involucro edilizio del futuro.

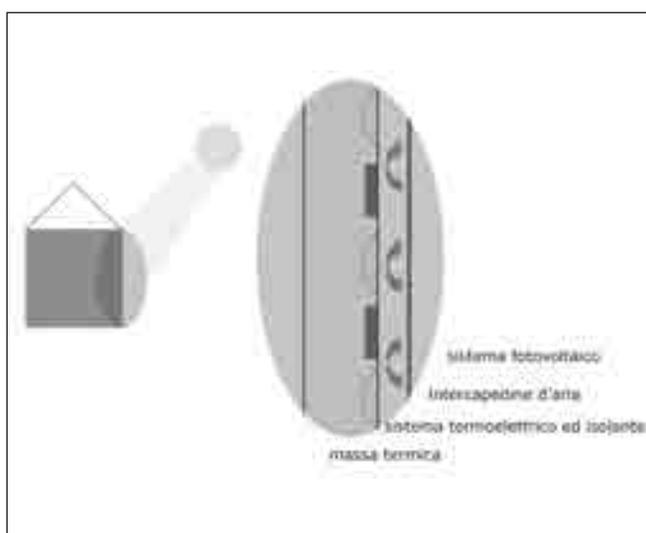


A&RT

dell'involucro stesso⁵. In questi sistemi di facciata due componenti principali ne caratterizzano il funzionamento: le cellule fotovoltaiche (PV) e il sistema termoelettrico (TE). Le celle fotovoltaiche trasformano l'energia solare in elettricità che alimenta il sistema termoelettrico (costituito da celle di Peltier) in grado di trasformare l'energia elettrica in calore o al contrario il calore in energia elettrica. Queste due tecnologie che caratterizzano il funzionamento della facciata attiva sono integrati all'interno dell'involucro. In particolare i moduli termoelettrici sono posizionati all'interno dell'involucro e il fotovoltaico sulla pelle esterna. Il sistema ABE, garantisce il mantenimento delle temperature dell'aria interna più basse nel periodo estivo, e più alte nel periodo invernale, rispetto ad un involucro tradizionale. L'interesse verso questa tecnologia deriva dalla sua capacità di essere autosufficiente dal punto di vista energetico, attraverso l'utilizzo di energia da fonte rinnovabile.

La tecnologia di finestra "Dual air flow window" può essere utilizzata per il miglioramento della qualità dell'aria interna (IAQ indoor air quality) e il risparmio di energia. Questa tecnologia garantisce il ricambio d'aria negli ambienti recuperando il calore dell'aria espulsa. La finestra è costituita da due cavità come rappresentato nella Figura 8. L'aria esausta in uscita dall'ambiente fluisce nella prima intercapedine e pre-riscalda l'aria in ingresso. Il risparmio energetico è duplice, diminuiscono le dispersioni termiche attraverso il componente vetrato e si riduce il fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffreddamento dell'aria. Per l'applicazione di questa tecnologia è importante studiare la portata d'aria ottimale nell'intercapedine ottimale. Infatti un flusso d'aria con una velocità troppo alta riduce l'efficienza del sistema limitando l'effetto di pre-riscaldamento dell'aria espulsa. Lo studio di questa tecnologia attraverso modelli di simulazione ha mostrato maggiori potenzialità di risparmio se applicata

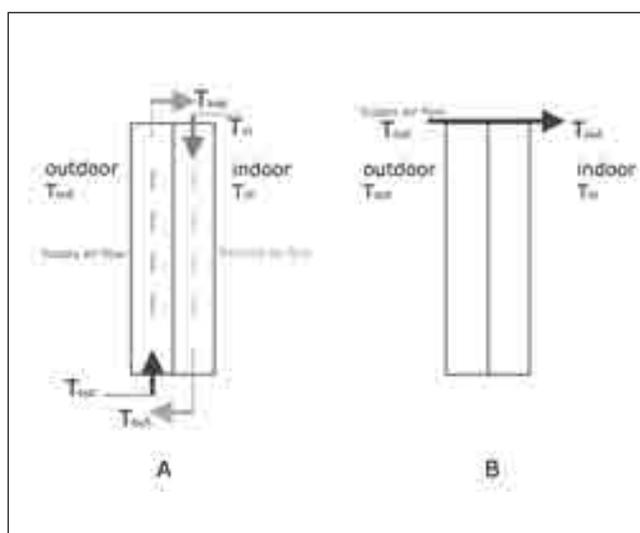
Figura 7. Schema di funzionamento di un sistema di involucro attivo.



in climi freddi data la sua capacità di ridurre le dispersioni termiche e di non penalizzare gli apporti termici gratuiti. Un altro studio interessante relativo all'involucro trasparente prevede il collegamento dell'intercapedine tra due vetri ad un circuito ad acqua. Il flusso d'acqua garantisce la riduzione della temperatura superficiale del vetro interno riducendo quindi i carichi termici solari entranti e conseguentemente il fabbisogno di energia per il raffreddamento. Oltre al risparmio energetico le condizioni di comfort all'interno dell'ambiente migliorano infatti il controllo della temperatura superficiale del vetro evita la creazione di situazioni di discomfort localizzato per asimmetria radiante. Inoltre l'intercapedine può essere utilizzata come un sistema per pre-riscaldare l'acqua e quindi ridurre il fabbisogno di calore per la produzione di acqua calda sanitaria. Alcuni studi hanno dimostrato che questo sistema può dare grandi vantaggi in edifici ad uso residenziale o commerciale con una richiesta stabile di acqua calda sanitaria.

A livello sperimentale si sta studiando la possibilità di incorporare nelle vetrate dei materiali a cambiamento di fase (PCM). Questi materiali sono in grado di immagazzinare ingenti quantità di energia durante il processo di fusione a temperatura pressoché costante. Da alcune campagne sperimentali è emerso che il vetrocamera con PCM riduce il valore di picco dei flussi termici totali entranti di circa il 60% in giornate soleggiate e di circa il 45% in giornate coperte⁶. L'energia che il materiale accumula viene restituita all'ambiente con uno sfasamento di alcune ore. L'impiego di vetrate con PCM integrati consente dunque d'incrementare considerevolmente l'inerzia termica delle vetrate (un elemento sempre critico relativamente alle superfici trasparenti) e di gestire efficacemente i flussi solari entranti. Ricerche recenti hanno mostrato come questa tecnologia permetta di migliorare, per molte condizioni operative, il comfort termoigrometrico interno

Figura 8. A: schema di funzionamento di una finestra "dual air flow"; B: finestra tradizionale.



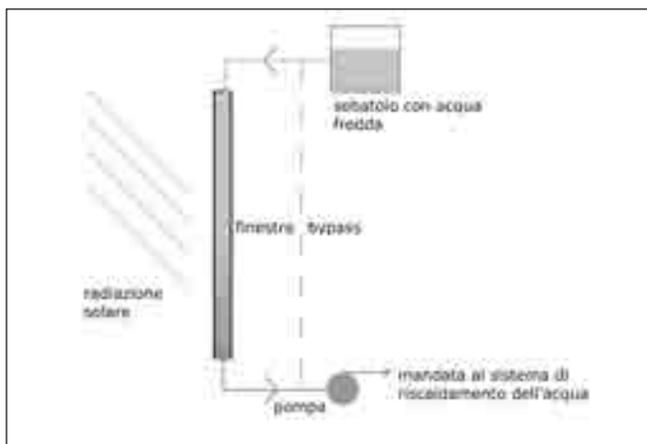


Figura 9. Principio di funzionamento del collegamento dell'intercapedine di una finestra con un circuito ad acqua.

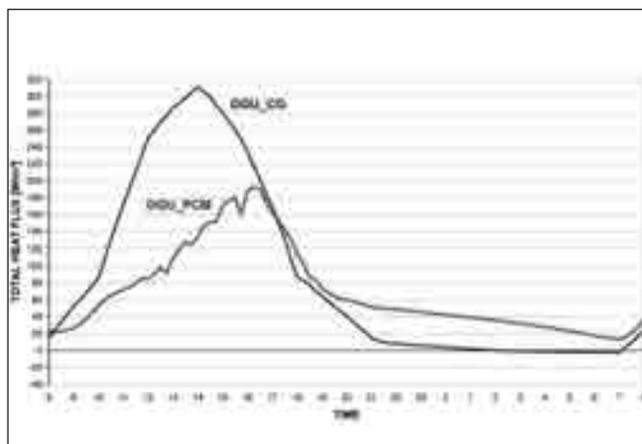


Figura 10. Flussi termici totali attraverso un vetro camera tradizionale ed una vetratura con PCM.

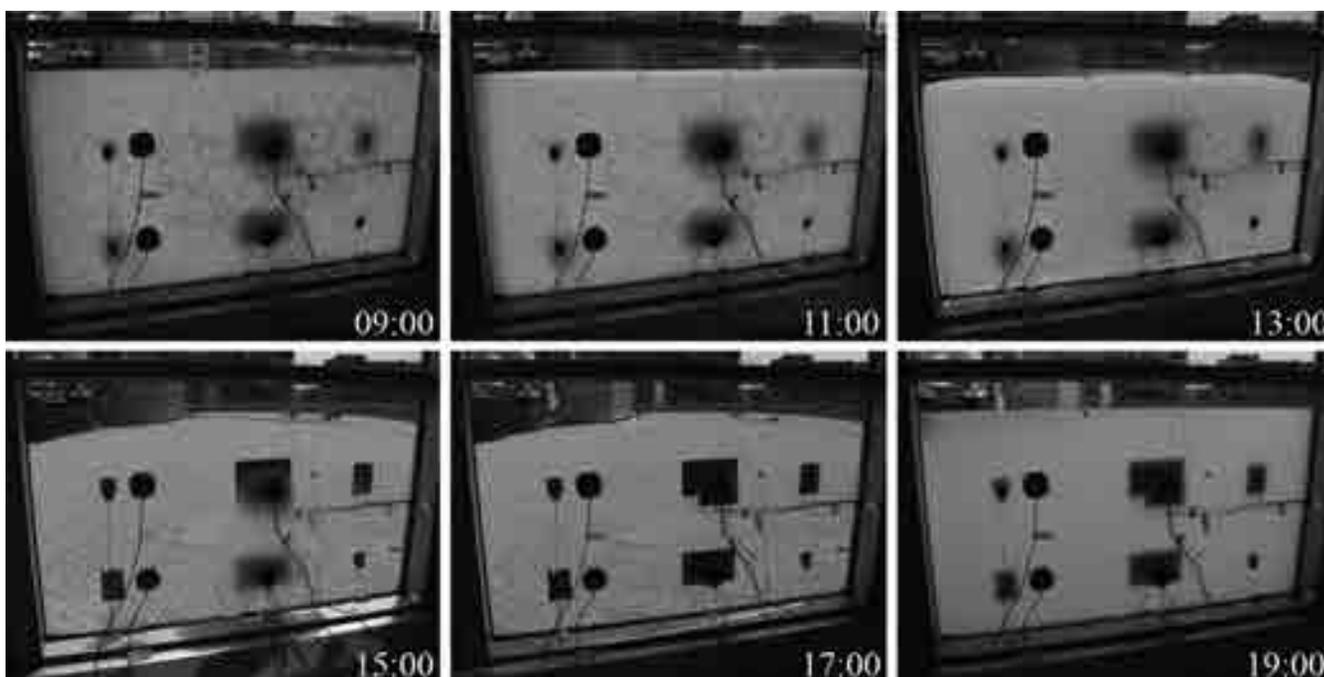
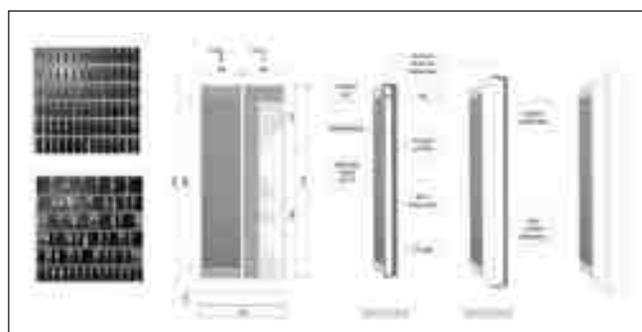


Figura 11. Comportamento di un prototipo sperimentale di vetrocamera con PCM durante una giornata estiva con elevato irraggiamento solare.

Figura 12. Concept del modulo di facciata ACTRESS.



A&RT

(riduzione dell'effetto superficie calda/fredda) e le prestazioni energetiche della superficie vetrata, come schematicamente evidenziato in Figura 10. Si evidenzia la complessità nell'ottimizzazione della prestazione di questa tecnologia nella stagione fredda, infatti il materiale a cambiamento di fase abbattendo i carichi solari entranti riduce il contributo solare positivo al bilancio energetico invernale e presenta una minore resistenza termica rispetto ai vetrocamera tradizionali⁷.

Un nuovo modulo di facciata attiva, responsiva e integrante dispositivi per la conversione dell'energia solare (ACTRESS ACTIVE RESponsive Solar Façade) è attualmente oggetto di sperimentazione presso il Politecnico di Torino (Dipartimento di Energetica, gruppo di ricerca TEBE). La facciata è costituita da un modulo opaco e un modulo trasparente. Il modulo opaco funziona come una facciata opaca con ventilazione forzata, in cui la superficie esterna è costituita da una vetrata fotovoltaica a film sottile per la conversione diretta di energia solare. Dietro all'intercapedine ventilata è posto un pannello altamente isolante (VIP), accoppiato con dei pannelli di PCM (verso l'ambiente interno), per l'accumulo di energia termica e la stabilizzazione del microclima interno, nei quali è annegata una piastra riscaldante per indurre il cambiamento di fase anche quando le condizioni climatiche al contorno non lo consentirebbero: una parte di PCM è stata infatti scelta con temperature di fusione adatte al controllo termico estivo e non interverrebbe nel trasferimento dei flussi nel periodo invernale. La parte trasparente è una facciata altamente performante dal punto di vista termico, costituita da due parti: la parte superiore è un triplo vetro con una intercapedine riempita con gas inerte (e vetro basso emissivo) e l'altra con aerogel; nella parte sottostante il triplo vetro ospita una schermatura solare con un rivestimento basso emissivo ad elevato controllo solare e luminoso.

Conclusioni

L'esplorazione di nuovi materiali, tecnologie e di sistemi dinamici capaci di mutare le proprie caratteristiche in funzione del clima esterno, offre grandi opportunità per il raggiungimento di traguardi nell'efficienza energetica. Inoltre l'evoluzione dell'involucro adattivo sembra essere una delle ricerche più promettenti a livello di coniugazione tra aspetto architettonico e puramente energetico e soprattutto in

linea con le recenti disposizioni Europee. In secondo luogo, i benefici di questi componenti possono essere percepiti non solo a livello di edificio ma anche a livello urbano, ad esempio nella riduzione dell'effetto dell'isola di calore. I componenti dinamici sono ancora caratterizzati da alcune criticità ed è quindi importante investire sulla ricerca applicata e sul trasferimento tecnologico da altri settori produttivi che potrebbero fornire tecnologie e soluzioni applicative in grado di accrescere le tecnologie attuali.

Note

- ¹ National Institute of Building Sciences – US.
- ² Building Energy Codes Resource Center, *Energy-Efficient Green Homes with Green Building – US*, PEW Centre – Global Climate Change, US DoE NREL - National Renewable Energy Laboratory.
- ³ Torcellini et al, in «ASHRAE Journal», 2007.
- ⁴ «Journal of Commerce Western Canada's Construction Newspaper», May 2010.
- ⁵ Xu, Van Dessel, *Evaluation of a prototype active building envelope window-system*, *Energy and buildings*, 2008.
- ⁶ F. Goia, M. Perino, V. Serra, F. Zanghirella, *Experimental assessment of the thermal behaviour of a DGU filled with pcms*, in *Proceedings of the LAQVEC 2010 Conference*, Vol. paper ref. 21-34 (on memory pen), 15-18 August, Syracuse, NY 2010.
- ⁷ *Ibidem*.

Bibliografia

- Øyvind Aschehoug, Marco Perino (eds.), *Annex 44 – IEA – ECBCS Report, Expert Guide – Part 2: RBE*, Torino 2010
- PEW Centre – Global Climate Change, *Report "Building Envelope"*, April 2011
- J. Wei, J. Zhao, Q. Chen, *Optimal design for a dual-airflow window for different climate regions in China*, *Energy and Buildings*, 16(6), 2010, pp. 785-798
- Tin-Tai Chow, Chunying Li, Zhang Lin, *The function of solar absorbing window as water-heating device*, in «Building and Environment», 46 (4), April 2011, pp. 955-960.
- F. Goia, M. Perino, V. Serra, F. Zanghirella, *Experimental assessment of the thermal behaviour of a DGU filled with pcms*, in *Proceedings of the LAQVEC 2010 Conference*, Vol. paper ref. 21-34, 15-18 August, Syracuse, NY 2010

Involucri opachi e trasparenti di ultima generazione: prestazioni energetiche e soluzioni tecniche

Next generation building envelope components: energy performance and technical solution

VALENTINA SERRA, LORENZA BIANCO

Il nuovo quadro di riferimento normativo sulle prestazioni energetiche dell'edificio ha dato un'importante spinta al mercato dei prodotti per l'edilizia. Nell'articolo viene presentato un breve excursus sull'evoluzione tecnologica che ha riguardato l'involucro opaco e trasparente negli ultimi 10 anni e vengono evidenziati gli attuali limiti ad una più estesa ed efficace applicazione. La ricerca ha portato alla trasformazione dell'involucro da semplice elemento di chiusura passivo a pelle dell'edificio, con prestazioni che diventano dinamiche e a carattere responsivo grazie ad una sempre maggiore integrazione tra edificio ed impianto. Le norme, i parametri prestazionali e gli strumenti di modellazione devono però essere in grado di seguire questo importante passaggio.

Valentina Serra, architetto, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino.

valentina.serra@polito.it

Lorenza Bianco, architetto, dottoranda di Innovazione tecnologica per l'ambiente costruito presso il Politecnico di Torino.

lorenza.bianco@polito.it

In the field of building envelope components a strong effort has been done in the latest years to develop new technical solution and new concept to fulfill the national and international standards on building energy efficiency. As a result of this process advanced and highly integrated building envelope components, characterized by responsiveness, adaptivity, dynamicity have been developed.

An excursus of the technological evolution concerning opaque and transparent building envelope components is here outlined and main barriers to overcome, in order to increase applicability and efficiency of advanced non conventional components, are pointed out.

The shift from the concept of enclosure to the concept of skin requires a new approach towards the assessment of building envelope energy performance: new indices, new standards and new tools have to be defined and implemented.

1. Involucro edilizio e prestazioni energetiche: linee di sviluppo

Nell'ultimo decennio la ricerca in ambito edilizio ed impiantistico, sulla spinta della Direttiva Europea 2002/91/CE, ha portato all'identificazione ed implementazione di numerose soluzioni tecniche in grado di ridurre in modo rilevante il fabbisogno energetico degli edifici.

La nuova frontiera (obiettivo 2020 della nuova Direttiva Europea) è la costruzione di edifici ad energia/emissioni zero (net Zero Energy/Emission Buildings – ZEB). Nella Direttiva vengono definiti come edifici in cui «il consumo totale annuale di energia primaria deve essere uguale o inferiore alla produzione energetica ottenuta in loco con le energie rinnovabili».

Questo processo, avviato in Italia nel 2005, ha già portato alla realizzazione di edifici che, anche con extra costi minimi, consentono la riduzione del fabbisogno per la climatizzazione invernale ed estiva di un terzo rispetto ad edifici realizzati con soluzioni tradizionali (precedenti ai D.lgs. 192/2005 e 311/2006).

Sia la legislazione nazionale che quella regionale pongono l'enfasi sulla corretta progettazione dell'involucro edilizio, fissando requisiti specifici di isolamento termico, inerzia termica e controllo della condensazione, per quel che riguarda l'involucro opaco, e requisiti di isolamento termico e controllo solare

A&RT

e luminoso per l'involucro trasparente. Inoltre, viene introdotto l'obbligo di produrre energia termica ed elettrica con fonti rinnovabili, e ciò indirizza verso l'introduzione di elementi d'involucro con funzione di captazione ed utilizzo dell'energia solare (componenti attivi). Di pari passo con l'evoluzione legislativa, si riscontra l'emanazione di nuove norme tecniche a livello internazionale (EN e ISO), che cercano di costituire un quadro completo per la valutazione delle prestazioni energetiche dei componenti dell'involucro. Questo nuovo quadro di riferimento ha dato una notevole spinta al mercato dei componenti per l'involucro edilizio, portando le imprese del settore ad investire in R&S e ad innovare. Come risultato il mercato dei prodotti per l'edilizia offre oggi un numero molto ampio ed articolato di soluzioni tecniche a disposizione dei progettisti. Nello specifico la ricerca tesa al miglioramento della performance energetica dell'involucro edilizio ha operato su più linee di sviluppo: da un lato l'involucro ha assunto un ruolo nuovo, trasformandosi da semplice elemento di chiusura, di barriera protettiva al contesto climatico esterno (involucro definito "passivo") a pelle, cioè a membrana permeabile e selettiva, elemento regolatore attivo dell'interazione tra ambiente interno e ambiente esterno (involucro "dinamico"); dall'altro è passato da semplice componente di trasferimento dei flussi energetici in gioco a

componente integrante sistemi per la produzione e la conversione di energia (involucro "attivo"). Questo nuovo approccio ha portato allo sviluppo di tecnologie che promuovono l'adozione di componenti dinamici ed adattativi/responsivi nell'involucro edilizio e negli elementi costruttivi (secondo la definizione dell'Annex 44 dell'IEA-ECBCS "Responsive Building Elements – RBEs), fortemente integrati con gli impianti meccanici e con sistemi atti allo sfruttamento dell'energia solare. Il termine "responsivo" si traduce nella capacità dei componenti (di involucro e/o strutturali) di adattare il proprio comportamento termofisico nel tempo e in relazione alle differenti esigenze dell'edificio e degli occupanti (riscaldare o raffrescare, aumentare o diminuire la ventilazione) e alle differenti condizioni al contorno (climatiche, di carico inquinante interno, di carico termico interno...).

Una schematizzazione del rapporto tra evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio e performance energetica è riportata nella Figura 1.

2. L'involucro edilizio passivo avanzato

2.1. Involucro opaco

In relazione all'involucro "passivo" opaco l'evoluzione tecnologica ha riguardato prevalentemente gli aspetti di isolamento termico e di inerzia termica. Si sono quindi affacciati

Figura 1. Schematizzazione del rapporto tra evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio e performance energetica.

INVOLUCRO EDILIZIO e PERFORMANCE ENERGETICA			
Passivo basic	Passivo avanzato	Dinamico Livello componente	Dinamico
Rispondenza ai requisiti di legge	ottimizzazione delle strategie "convenzionali" di controllo dei flussi termici, solari e luminosi	materiali aventi proprietà termofisiche e ottiche variabili	Involucro integrato con impianti HVAC

Figura 2. Isolante termoriflettente, aerogel granulare, pannelli isolanti sotto vuoto.



Figura 3. Esempi di cool roofs e dati prestazionali (fonte: EETD, LBL, USA).



sul mercato isolanti con conduttività termica molto più bassa rispetto ai valori convenzionali (che per lunghi anni si è attestata su valori pari a circa 0,04 W/mK). Attraverso il trasferimento tecnologico, prevalentemente dal settore aerospaziale, sono stati introdotti in ambito edilizio materiali quali gli isolanti termoriflettenti sottili, gli isolanti sottovuoto e isolanti a base di aerogel.

Gli isolanti termoriflettenti, su cui non è tuttavia ancora presente una specifica letteratura scientifica in materia, grazie all'interposizione di strati bassoemissivi e riflettenti presentano una valida prestazione termica grazie alla limitazione dello scambio termico radiativo.

Le prime molecole di aerogel risalgono al 1931, ma solo recentemente tale materiale è stato introdotto in ambito edilizio. Insieme ai pannelli sotto vuoto (noti come VIP – Vacuum Insulated Panels) appaiono oggi tra i materiali isolanti più promettenti. Le speciali proprietà isolanti dell'aerogel si devono alla sua particolare struttura fisica e chimica, risultato di un complicato processo di produzione. Il materiale presenta una matrice porosa con una scarsissima densità apparente: è composto per il 96% da aria e per il 4% da silice (massa volumica 135 kg/m³). Il materiale si può presentare sotto forma granulare o monolitica. La conducibilità termica dei prodotti attualmente in commercio è intorno a 0,02 W/mK mentre per aerogel monolitici si scende a 0,016 W/mK, valori molto bassi se paragonati a quelli dei tradizionali materiali isolanti.

Gli isolanti sotto vuoto sfruttano il principio per cui attraverso il vuoto non si hanno scambi convettivi e conduttivi. Questa tecnologia presenta valori di conducibilità termica (intorno a 0,004 W/mK) anche dieci volte inferiori a quelle dei materiali standard. Questa caratteristica permette di ottenere valori di isolamento molto elevati anche con spessori ridotti, dato particolarmente interessante nelle riqualificazioni edilizie. Uno dei limiti principali è la necessità di essere maneggiati e applicati con estrema attenzione poiché un'accidentale scalfittura del rivestimento del pannello durante il trasporto, la fase di stoccaggio o la posa in opera può ridurre drasticamente le prestazioni termiche. Una possibile applicazione che limita questo rischio è l'utilizzo dei pannelli in strutture prefabbricate. Altro elemento di criticità è la correzione del ponte termico che si viene a creare tra pannelli accostati (le dimensioni del pannello sono limitate a circa 60 cm).

Sul tema dell'inerzia termica oltre all'integrazione nell'involucro di materiali capacitivi (ad elevata massa volumica e calore specifico), come alcuni isolanti ad origine vegetale (fibra di legno e sughero), particolare enfasi viene data a soluzioni massive come la copertura a verde (soprattutto quelle a carattere estensivo). Questi sistemi sono in grado di agire sull'inerzia termica dell'edificio e di diminuire le temperature superficiali delle strutture cui sono applicate grazie alla presenza della terra e all'effetto evapo-traspirativo e di ombreggiamento della vegetazione.

Un altro tema molto attuale sono le superfici fredde (cool roofs). L'applicazione di coatings riflettenti nel NIR permette di limitare l'innalzamento della temperatura superficiale di strutture esposte alla radiazione solare. Questi materiali sono caratterizzati da un basso fattore di assorbimento solare e sono in grado di riflettere fino all'85% della radiazione solare incidente. Il mantenimento della temperatura superficiale più bassa, permette di ridurre il flusso di calore che attraversa la struttura, diminuendo quindi i fabbisogni di energia per il raffrescamento e migliorando le condizioni di comfort interno. L'applicazione più diffusa di questi materiali è sulle coperture. I limiti di questa tecnologia risiedono nelle problematiche tecniche di applicabilità ad edifici esistenti ed alla necessità di mantenere la superficie trattata pulita dal deposito di polveri e da elementi che ne possono ridurre la capacità di riflessione.

2.2. Involucro trasparente

L'involucro trasparente gioca oggi un ruolo molto importante a livello di prestazione energetica. Lo spazio occupato in facciata dalla parte trasparente è cresciuto notevolmente negli ultimi anni, non solo per la volontà dei progettisti e committenti di incrementare la permeabilità tra interno ed esterno dell'edificio, ma spesso per l'immagine high-tech che tale tipologia di involucro conferisce agli edifici su cui è applicato. Come noto l'involucro trasparente ha minori capacità isolanti del sistema opaco e una bassissima inerzia termica: il suo impatto sulla prestazione energetica globale dell'edificio risulta quindi molto elevato. Proprio a causa dei suoi limiti numerose sono state le ricerche sui materiali trasparenti per l'edilizia, soprattutto su componenti vetrati, soprattutto nella direzione di migliorarne gli aspetti di isolamento termico e di controllo solare, senza penalizzarne la prestazione in termini di trasmissione della luce naturale. Inoltre, è cresciuta notevolmente l'attenzione agli aspetti di comfort correlata alla presenza di superfici trasparenti, quali in particolare il discomfort termico locale per asimmetria radiante (disagio dovuto alla differenza di temperatura radiante a cui è esposto un soggetto e causata dalla disuniformità di temperatura superficiale tra le superfici che delimitano l'ambiente).

In relazione agli aspetti di controllo termico sul mercato si sono affacciati componenti vetrati con coating magnetronici basso emissivi e con intercapedine riempita di gas nobili (argon e kripton), soluzioni che hanno permesso di ridurre la trasmittanza termica da 3W/m²K (vetrocamera standard con aria secca) a valori di 1 W/m²K. Ai fini del controllo solare sono stati, invece, sviluppati coating magnetronici selettivi in grado di agire in modo selettivo sulle diverse lunghezze d'onda della radiazione solare incidente, riducendo la trasmissione solare e mantenendo al contempo elevata la trasmissione luminosa.

Ulteriori innovazioni hanno riguardato il campo dei

A&RT

materiali polimerici, con l'introduzione sul mercato di soluzioni quali gli isolanti trasparenti (TIM, Transparent Insulating Materials), il polimetilmetacrilato (PMMA) a struttura capillare o a nido d'ape o l'etilene tetrafluoroetilene (ETFE).

Il PMMA a struttura capillare e a nido d'ape, collocato nell'intercapedine del vetrocamera, è in grado di ridurre gli scambi convettivi e permette di raggiungere valori di trasmittanza termica pari a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. L'utilizzo di questo materiale richiede però spessori piuttosto elevati (tra i 50 e i 100 mm). Con fogli di ETFE estruso possono essere realizzati dei cuscini pneumatici con elevate proprietà termiche ed estrema leggerezza. Una membrana realizzata in ETFE può presentare, per uno spessore di $200 \mu\text{m}$ e peso di 700g/m^2 , un valore di trasmittanza termica di $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Un notevole incremento di prestazione per le diverse soluzioni può essere ottenuto grazie al riempimento delle intercapedini con il già citato aerogel. A titolo indicativo se un cuscino di ETFE o un vetrocamera vengono riempiti di aerogel il valore di trasmittanza può scendere a valori di $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Al miglioramento della prestazione del componente trasparente si è associato il miglioramento anche della prestazione termica di profili e distanziali, arrivando a ridurre la trasmittanza termica del sistema vetrato (nel suo insieme vetro, profilo e distanziali) a valori pari a $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ per

telai metallici e a valori pari a $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ per telai in legno. Sul tema del controllo solare numerose soluzioni relative sia alla componente vetrata sia ai sistemi di schermatura solare sono oggi presenti sul mercato.

Per quel che riguarda la componente vetrata, ai convenzionali vetri colorati in pasta (assorbenti) e ai vetri riflettenti (a riflessione incrementata tramite deposizione di coating sul substrato), si sono aggiunti i vetri selettivi (con trasmissione selettiva delle lunghezze d'onda, elevata nel campo del visibile e ridotta nel campo del solare) e i vetri con microstrutture che rifrangono la radiazione secondo angoli predefiniti (quali ad esempio i vetri prismatici).

Nel campo della schermatura solare i progressi più significativi hanno riguardato i tessuti che costituiscono le tende tecniche (in termini di trama e materiali) e le veneziane, in particolare relativamente a forme, colori e dimensioni delle lamelle. Inoltre si sono diversificati molto i meccanismi e le modalità di movimentazione dei sistemi frangisole, incrementandone la dinamicità prestazionale.

3. L'involucro dinamico

Il miglioramento della prestazione del componente secondo le modalità convenzionali appena descritte è ormai tale che per ottenere incrementi di efficienza energetica significativi si rende necessario individuare una nuova strategia di sviluppo. Una strada che si sta perseguendo nell'ambito della ricerca è



Figura 4. Capillari in PMMA inseriti in vetrata isolante (fonte: Okalux, D).

Figura 5. Riempimento dell'intercapedine di un vetrocamera con aerogel granulare. Attività di ricerca presso Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino.



Figura 6. Soluzioni avanzate di veneziane (fonte: Retrosolar, D).



quella della dinamicità prestazionale, definita “responsività”, cioè la capacità dell’involucro di fornire in ogni condizione al contorno la risposta energeticamente più efficiente.

La dinamicità può essere ottenuta tramite la realizzazione del componente stesso con materiali che modificano le proprie proprietà termo-fisiche o spettrali al variare delle condizioni al contorno (come ad esempio per l’involucro opaco i materiali a cambiamento di fase e per l’involucro trasparente i vetri elettrocromici) o attraverso l’integrazione, a livello di sistema, di fluidi come l’aria (facciate ventilate opache e facciate a doppia pelle trasparente) o l’acqua (tetto ad acqua) e una più spinta integrazione con l’impianto HVAC.

3.1. A scala di componente

A livello di componente stanno avendo un notevole sviluppo i materiali a cambiamento di fase (PCM Phase Change Material), costituiti da paraffine o da sali idrati. Questi materiali cambiano, alla pressione atmosferica, la loro fase (solidificazione/fusione e viceversa) ad una temperatura definita e prossima alle temperature tipiche delle applicazioni in ambito edilizio. L’interesse verso questa tecnologia deriva dalla capacità dei PCM di accumulare grosse quantità di energia, sotto forma di calore latente. Durante il processo di cambiamento di fase il calore viene accumulato e rilasciato senza significative variazioni di temperatura. Le caratteristiche di questo materiale possono essere utilizzate per aumentare l’inerzia termica del componente con piccoli spessori e per implementare le capacità di accumulo termico. Se il materiale viene utilizzato per migliorare l’inerzia termica può essere integrato nelle strutture murarie esterne, nell’intonaco o in partizioni interne. Risultano ancora limitati i prodotti in commercio per

l’edilizia e complicata la loro integrazione nell’involucro. Attualmente sono in fase di sperimentazione pannelli in cui il materiale a cambiamento di fase è microincapsulato in un polimero.

Un’altra possibile applicazione di questi materiali è nell’intercapedine dei vetri, per incrementarne l’inerzia e ridurre la trasmissione di energia solare; al momento esiste un solo prodotto in commercio con queste caratteristiche, ma sono presenti diverse ricerche scientifiche dedicate a questa soluzione che ne evidenziano potenzialità e problematiche (per i quali si rimanda all’articolo di Perino, Bianco).

Per quel che riguarda l’involucro trasparente, sono, inoltre, da anni allo studio vetri cromogenici, che modificano le proprietà ottico-spettrali in funzione della variazione di uno stimolo esterno che può essere naturale o indotto. In funzione di questa diversa proprietà di attivazione si dividono in “adattivi”, come i materiali fotocromici che rispondono a variazioni dell’intensità luminosa e in termocromici o termotropici in grado di attivarsi in funzione della variazione di temperatura, e in “attivabili”, come gli elettrocromici e i gascromici, controllati esternamente tramite un impulso elettrico che induce il processo. I vetri attivabili possono essere controllati dall’utente o da un sistema di gestione dell’edificio e sembrano essere oggi le tecnologie con maggiori prospettive di sviluppo e su cui alcune aziende leader del settore vetrario stanno investendo in modo rilevante.

3.2. A scala di sistema

Ai fini di migliorare la capacità di risposta del sistema edificio/impianto è apparso fondamentale superare la visione involucro edilizio e impianto come componenti separate.

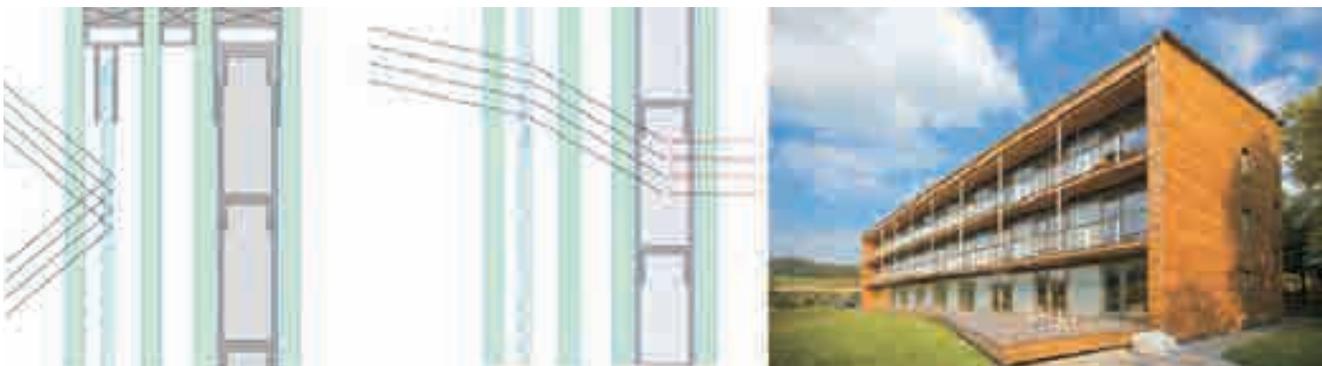


Figura 7. Facciata con pannelli prismatici e PCM (fonte: GlassX, CH).

Figura 8. Facciata elettrocromica (fonte: Sage Electrochromics, USA).



A&RT

Tra i sistemi integrati che hanno avuto maggiore successo e sviluppo in questi anni ci sono le “Advanced Integrated Façades (AIF)”, cioè facciate in cui la componente involucro e l'impianto HVAC sono strettamente integrati e la facciata può diventare canale di estrazione dell'aria di ventilazione, supporto di sistemi impiantistici di controllo termoisolometrico di bordo, supporto di sistemi per la conversione dell'energia solare (quali ad esempio collettori solari o pannelli PV).

Tra le AIF più utilizzate in ambito terziario si possono citare le “Active Façades”, in cui, grazie alla ventilazione in intercapedine, la facciata è in grado di modificare il proprio comportamento alle richieste ambientali (heating/cooling) ed alle condizioni al contorno disponibili. Tra le varie tipologie la “climate façade” (facciata climatizzata) e la “double skin façades” (facciata doppia pelle) hanno riscosso un particolare successo. Nella *climate façade* l'aria estratta dall'ambiente viene convogliata meccanicamente nell'intercapedine della facciata, andando a mitigare i flussi in uscita e ingresso. In inverno, ad esempio si può sfruttare il flusso termico assorbito dalla schermatura come una sorta di

“recuperatore di calore” per preriscaldare l'aria esterna di ventilazione; in estate l'aria proveniente dall'ambiente climatizzato può contribuire ad asportare il carico solare entrante. Nella *double skin façade*, invece la ventilazione è del tipo esterno/esterno tramite aperture di ventilazione regolabili per la mandata (alla base) e l'estrazione (sulla sommità) dell'aria. Nella stagione di riscaldamento il concept della DSF è basato sullo sfruttamento dell'energia solare attraverso un buffer termico (l'aria contenuta nello spazio tra i layers vetrati viene riscaldata dalla radiazione solare che incide sulla schermatura posta all'interno della cavità); nella stagione estiva la portata di aria rimuove il carico solare altrimenti entrante.

Le numerose analisi sperimentali condotte in laboratorio (celle di prova TWINS del Politecnico, Dipartimento di Energetica) e in campo (monitoraggi di edifici quali Environment Park a Torino) hanno evidenziato che gli effetti attesi dall'introduzione di queste tecnologie di facciata, in termini di efficienza energetica e comfort, possono essere compromessi da scelte non ottimizzate dei sub componenti (dalla scelta del vetro interno, chiaro

Figura 9. Facciata doppia pelle, a ventilazione ibrida, sulla cella di prova TWINS del Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino.

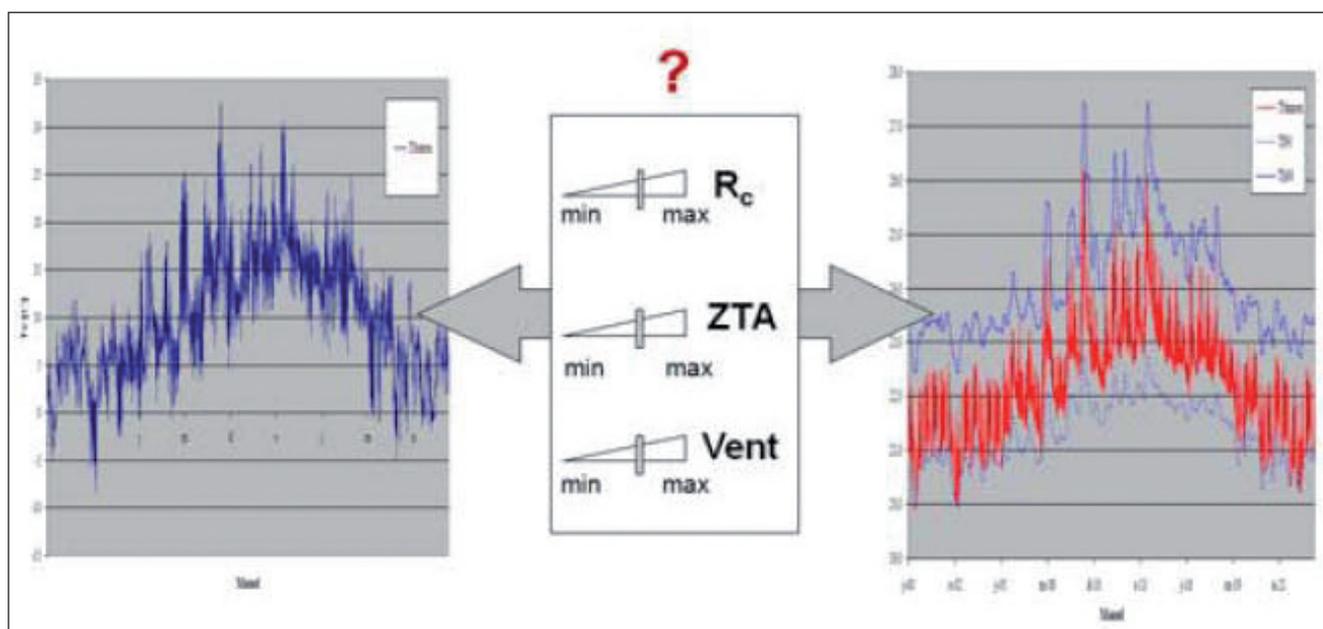


Figura 10. Schema riassuntivo degli indicatori prestazionali, dei diversi strumenti e dei regimi di calcolo in funzione del tipo di involucro edilizio.

Livello Normativo	UNI TS 11300		LEED BREEAM	RICERCA	
Condizioni al Contorno	DT design	GG	DT hourly	DT hourly	DT hourly
	Stazionario	Semistazionario	Dinamico Tradizionale	Dinamico Componenti innovativi	Dinamico Integrazione HVAC
Parametri Materiali	U, g	U, g	U, g, C	Parametri dinamici involucro (ϵ, η ?)	Parametri dinamici involucro/HVAC (E_p ?)
Strumenti di calcolo					



Figura 11. L'approccio inverso per la definizione dell'involucro ottimale (progetto FACET, NL, fonte: TNO-ECN).



A&RT

piuttosto che basso emissivo, al filtro che introduce perdite di carico eccessive, a schermature assorbenti che incrementano eccessivamente la temperatura dell'aria nell'intercapedine causando effetti importanti in termini di discomfort termico degli occupanti).

Particolarmente promettente appare l'integrazione in facciata di elementi per la conversione dell'energia solare, quali ad esempio celle PV, che permettono di ottenere energia elettrica sfruttabile in questa tipologia di facciata per migliorarne in modo rilevante la prestazione. Un esempio è l'integrazione tra moduli fotovoltaici e ventilatori a bordo della facciata, che vengono quindi attivati in funzione della radiazione solare incidente, ottimizzando la portata di ventilazione ai fini dell'asportazione del carico solare entrante, oppure tra moduli fotovoltaici e piastre riscaldanti elettriche che possono interagire con altri componenti della facciata (ad esempio i PCM o i vetri termotropici).

4. La prestazione energetica: nuovi approcci alla valutazione

Dal quadro tracciato emerge chiaramente che il passaggio da componenti a prestazione elevata, ma a comportamento convenzionale, a componenti e sistemi a carattere fortemente dinamico e integrato, implica una modifica dell'approccio valutativo finalizzato alla verifica della prestazione energetica di tali soluzioni. I parametri convenzionali, quali ad esempio la trasmittanza termica, si rivelano fortemente inadeguati per caratterizzare facciate attive o materiali a cambiamento di fase, poiché alcune assunzioni di calcolo (fra tutte l'ipotesi di regime stazionario) perdono di significato e di validità fisica. È necessario quindi definire nuovi parametri prestazionali e le metodologie e gli strumenti di calcolo più appropriati.

Attualmente in questo ambito regna ancora un discreto vuoto normativo e una certa confusione tra gli operatori del settore. Questo si traduce in una reale difficoltà per i progettisti nell'adottare soluzioni meno standardizzate, dovendosi confrontare con norme che richiedono la verifica di parametri non coerenti e dovendo demandare a gruppi di ricerca iperspecializzati la verifica della prestazione. A tal proposito uno dei limiti maggiori all'introduzione di queste nuove soluzioni in Italia è la mancanza di figure quali il consulente energetico di facciata, figura invece molto presente in Francia e Germania, il che fa sì che, da un lato, ci siano ancora troppo poche società di consulenza energetica in grado di effettuare determinate analisi in modo corretto e per lo più poco conosciute tra i progettisti; dall'altro che il costo per questo tipo di analisi non venga preventivato fin dall'inizio e che, quindi, venga poi visto come una quota extra di spesa, a cui si finisce per rinunciare.

Per venire al risultato atteso richiede un processo di progettazione integrata dell'edificio, in cui le diverse competenze

professionali interagiscono durante l'intera fase di progetto. Non si ha più a che fare con componenti "plug&play": le caratteristiche del componente vanno rigorosamente definite già in fase di progetto (ad esempio per quel che riguarda i PCM la temperatura di fusione e la quantità necessaria, nel caso della doppia pelle la gestione della ventilazione) e la prestazione energetica finale diventa funzione della qualità dei parametri impostati.

Inoltre, è importante sottolineare che le soluzioni integrate risultano efficienti solo quando ogni sub-componente opera nel modo previsto. Purtroppo in diverse esperienze di monitoraggio si è verificata una caduta di prestazione dell'intero sistema a causa della sostituzione, in fase realizzativa, di alcuni elementi, ritenuti, non correttamente, secondari, con analoghi a costo inferiore (e prestazioni conseguentemente inferiori). Se, infatti, l'impatto di tale operazione su un componente convenzionale è spesso relativo, nelle soluzioni integrate si ha un effetto di scala che amplifica la caduta prestazionale.

Senza un cambio radicale di approccio appare lontana la reale penetrazione dei nuovi componenti e sistemi nell'edilizia standard e soprattutto diventano frequenti le applicazioni in cui le aspettative relative all'incremento di prestazione vengano disattese.

Interessante appare, infine, il nuovo scenario che si sta prefigurando per gli involucri del futuro, basato su un approccio di modellazione inverso: dalle condizioni al contorno (climatiche interne ed esterne) e dalle esigenze di comfort indoor (comfort termico, visivo, acustico e di IAQ), attraverso modelli di simulazione dinamica oraria, si perverrà alla definizione ottimizzata delle prestazioni che l'involucro edilizio deve garantire durante i diversi periodi dell'anno e, in base ad esse, si individueranno le soluzioni tecniche coerenti (tra gli altri si veda il progetto FACET, NL).

Bibliografia

- S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per una architettura sostenibile*, Alinea, Firenze 2004
- V. Corrado, S. Paduos, V. Serra, *Tecnologie innovative per l'involucro edilizio*, Forte Chance Piemonte, Torino, 2011
- F. Goia, M. Perino, V. Serra, F. Zanghirella, *Towards an active, responsive, and solar building envelope*, in «Journal of green building», 5 (4), 2010
- Oesterl, Lieb, Lutz, Heusler, *Double-skin Facades*, Prestel, Munich 2001
- M. Perino, V. Serra, *Involucro trasparente. Oltre il concetto di isolamento termico. Dalle Double Skin Façade alle facciate altamente integrate*. in «AICARR Journal», 10, 2011, pp. 50-60
- M. Wigginton, J. Harris, *Intelligent skins*, Architectural Press, Oxford 2003

Le tecnologie struttura/rivestimento per l'efficienza energetica

Structure/envelope technologies for energy efficient buildings

GABRIELE MASERA

Gli obiettivi di efficienza energetica degli edifici sanciti dalla Direttiva 2010/31/UE impongono un ripensamento della modalità con cui si costruiscono correntemente gli edifici. Le tecnologie costruttive sono un aspetto chiave per ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni, come evidenziato dalla recente ricerca europea Smart-ECO. I sistemi Struttura / Rivestimento (S/R), leggeri e assemblati a secco, oltre a garantire l'integrazione degli spessori di isolante termico oggi necessari, presentano vantaggi che spaziano dalla rapidità esecutiva, alla potenziale prefabbricazione degli elementi tecnici, alla facilità di smontaggio e riciclaggio dei materiali. Il testo discute nel dettaglio questi aspetti, per poi presentare un recente caso applicativo di edilizia sociale realizzato a Brescia con tecnologie S/R.

Gabriele Masera, ingegnere edile, professore associato di Produzione edilizia presso il Dipartimento BEST del Politecnico di Milano. gabriele.masera@gmail.com

The energy efficiency goals stated by Directive 2010/31/EU require to change the way buildings are currently realised. Construction technologies are key to reduce the environmental impact of buildings, as the recent European research Smart-ECO highlighted. Lightweight, dry-assembled Structure / Envelope (Str/En) technologies allow to implement the thick layers of thermal insulating materials required today by regulations; moreover, they present additional advantages such as fast construction, potential prefabrication of components, and easy dismantling and recycling of materials. This text discusses these issues in detail and then presents a recent example of social housing built in Brescia using Str/En technologies.

La limitazione dell'impatto ambientale delle costruzioni è uno degli aspetti che oggi spinge l'innovazione nel settore edile, sia alla scala degli edifici e degli insediamenti urbani, sia a quella del singolo componente o materiale. In particolare, l'efficienza energetica degli edifici è uno dei settori strategici per il raggiungimento dell'obiettivo 20-20-20 del 2020¹: da un lato, perché il settore è causa di circa il 40% del consumo di energia² e di un quinto circa delle emissioni nocive³; dall'altro, perché le strategie progettuali e le tecnologie necessarie per ottenere i risparmi richiesti sono già disponibili sul mercato o prossime ad arrivarci. Per questi motivi, la nuova Direttiva 2010/31/UE sull'efficienza energetica degli edifici (EPBD) prevede che, a partire dal 31 dicembre 2020, in tutta l'Unione i nuovi edifici privati⁴ debbano raggiungere lo standard *nearly zero energy*: semplificando, le nuove costruzioni dovranno avere livelli di consumo estremamente ridotti e coprire la maggior parte dei consumi residui con energia rinnovabile prodotta in sito⁵.

Molte sperimentazioni ed esempi reali mostrano la possibilità pratica di raggiungere tali livelli di prestazione: sebbene la sfida dei prossimi anni consista nella diffusione delle pratiche più virtuose nell'edilizia corrente, si

A&RT

può affermare che dal punto di vista energetico la *roadmap* a medio termine sia ormai tracciata. Altri aspetti correlati alla sostenibilità ambientale delle costruzioni non sono ancora regolati da norme, né sono entrati nella prassi delle *best practices*, ma possono essere significativi per l'evoluzione degli edifici (e dell'architettura) nei prossimi vent'anni.

Per identificare meglio tali aspetti, e valutare l'influenza che essi possono avere nel settore delle costruzioni, la Commissione Europea ha finanziato, nel periodo 2008-2010, la ricerca Smart-ECO (acronimo di *Sustainable Smart Eco-Buildings in the EU*), parte del settore "Ecobuildings" del Sesto Programma Quadro dell'Unione (FP6). Gli obiettivi principali della ricerca erano:

- tracciare una visione per gli edifici sostenibili all'orizzonte temporale 2020-2030;
- identificare le innovazioni tecnologiche e di processo necessarie a implementarla;
- valutare quali innovazioni siano le più promettenti;

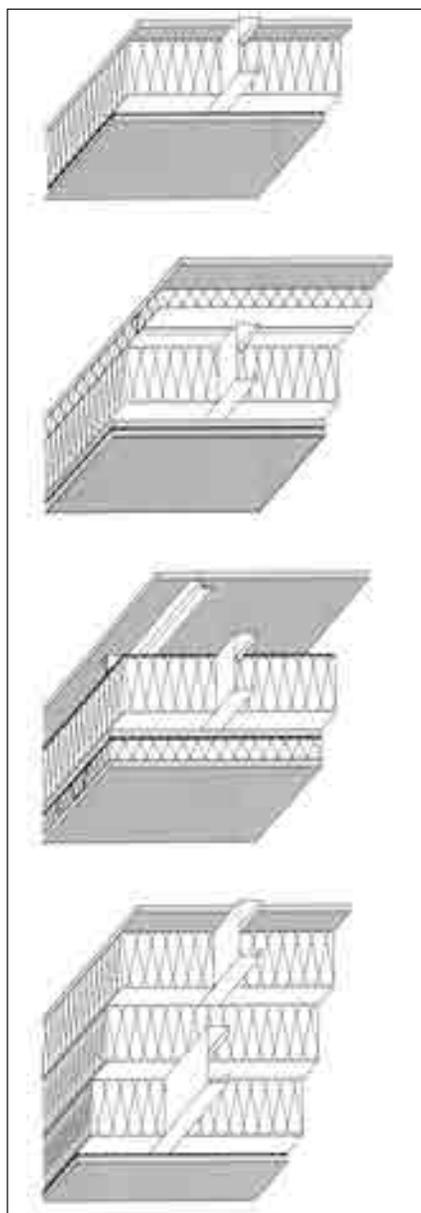
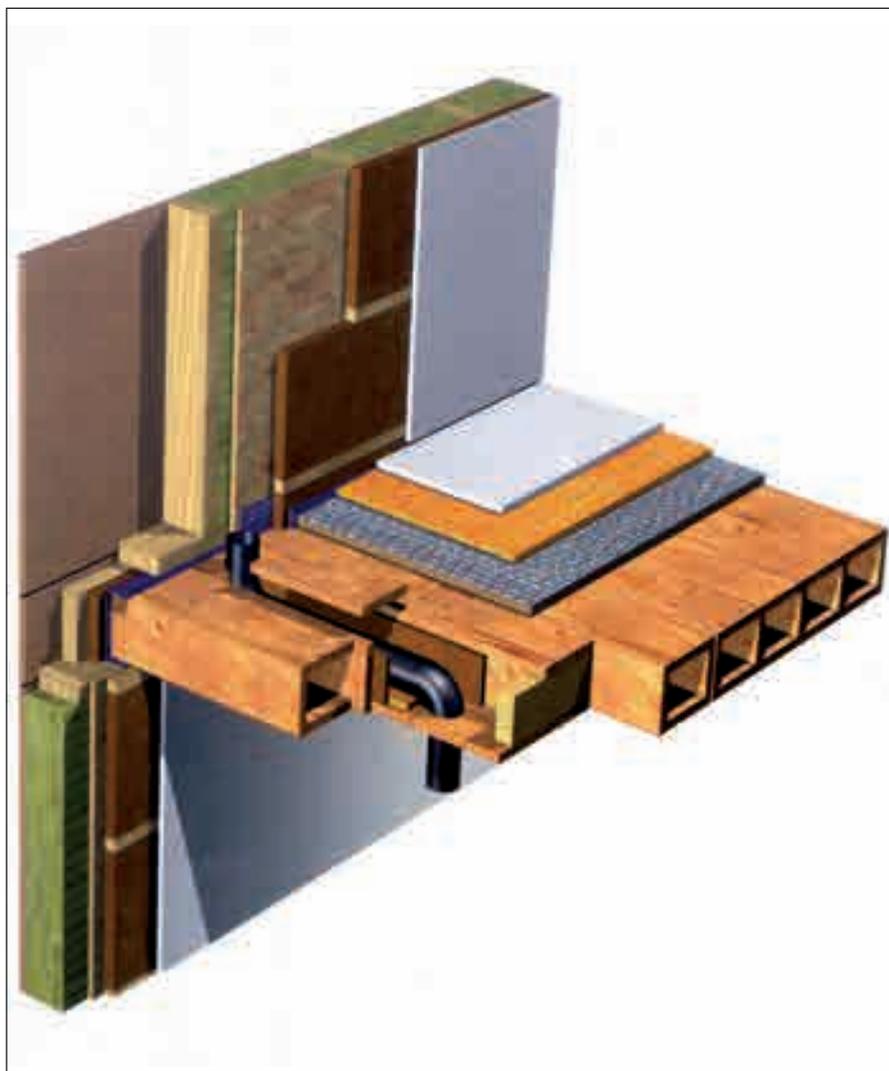
e disseminare le conoscenze così acquisite presso gli operatori del settore delle costruzioni, in funzione degli obiettivi di efficienza energetica del 2020, pur considerando anche altri aspetti legati alla sostenibilità delle costruzioni. Un *team* del Politecnico di Milano – Dipartimento BEST⁶ si è occupato, in particolare, dell'identificazione delle innovazioni.

Le sfide più significative a cui dovranno rispondere gli edifici del 2030, condivisi dal gruppo di lavoro con diversi *stakeholders* del settore, sono in sintesi le seguenti.

- Mitigazione e adattamento al cambiamento climatico: la mitigazione consiste nell'azione sulle cause del cambiamento climatico (riduzione delle emissioni di gas serra), mentre l'adattamento prevede ci agli impatti fisici del cambiamento climatico (riduzione della vulnerabilità a temperature crescenti, eventi meteorologici più intensi ecc.).
- Adattamento a nuove forme di energia: gli edifici costruiti oggi saranno ancora utilizzati quando i combustibili fossili saranno probabilmente esauriti, ed è

Figura 1. Solaio in legno: assonometria di un tipico sistema costruttivo assemblato a secco in legno (fonte: Lignatur).

Figura 2. Stratigrafie SR: assonometrie di alcune soluzioni di involucro in struttura metallica leggera e lastre di completamento (fonte: Stahl-Information-Zentrum).



quindi indispensabile pensare alla possibilità di retrofit per altre fonti energetiche. Si dovrebbe anche considerare che l'unica fonte di energia sicuramente inesauribile è il sole.

- Integrazione degli edifici nelle reti energetiche: gli edifici passeranno da consumatori a produttori di energia. È quindi necessaria l'integrazione di produzione centralizzata (tradizionale) e produzione diffusa (distribuita sulle coperture degli edifici) in un unico sistema "intelligente" in grado di bilanciare domanda e offerta di energia (smart grids).
- Ridurre il consumo di risorse: il progressivo consumo di territorio, acqua e materie prime impone di progettare considerando il ciclo di vita dei materiali e i relativi impatti. Oltre a prevedere l'uso di materiali recuperati / riciclati / riciclabili, è indispensabile pensare già ora al "second use" e alla de-costruzione.
- Progetti adattabili e flessibili: i cambiamenti che caratterizzano la nostra società riguardano una popolazione che invecchia, la migrazione verso le città e il nostro stesso stile di vita. Gli edifici dovrebbero essere in grado di accogliere funzioni oggi non contemplate o imprevedibili, dal momento che il riutilizzo degli edifici significa conservare delle risorse impegnate per la loro costruzione. Costruzioni progettate secondo criteri di flessibilità e adattabilità a medio termine ("loose fit, long life") avranno ragionevolmente un'attesa di vita più lunga.

1. Le tecnologie costruttive S/R

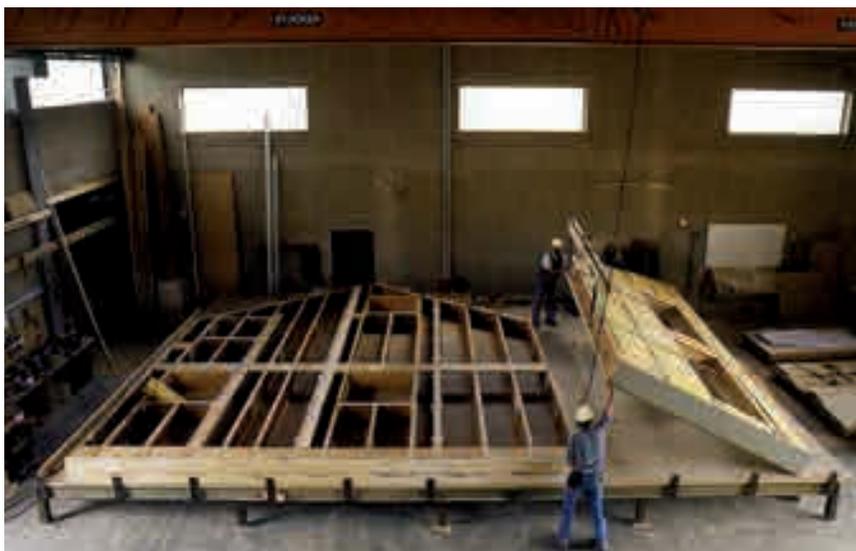
Sebbene tutti questi requisiti, e gli stessi obiettivi di efficienza energetica, si possano raggiungere solo attraverso

un progetto olistico che integri le diverse discipline, risulta evidente la centralità del sistema costruttivo ai fini della riduzione dell'impatto ambientale complessivo. Non a caso, i tipici processi di innovazione che da un paio di decenni si registrano sul mercato europeo delle costruzioni sono innescati direttamente dai produttori stessi di materiali e componenti che, spinti alla ricerca di una qualità sempre più conforme alle esigenze degli utenti e di una ecocompatibilità ormai indispensabile per rimanere sul mercato, procedono al miglioramento continuo dei loro prodotti e dei relativi procedimenti di messa in opera. Da tempo si assiste quindi (con intensità e rapidità variabili nei diversi Paesi della UE, in funzione delle tradizioni costruttive locali e dell'incisività della normativa energetica) all'affermazione delle cosiddette tecniche costruttive Struttura/Rivestimento (S/R), che si basano sulla separazione fra struttura portante dell'edificio e gusci di completamento (Figura 1). Questi ultimi sono costituiti da assemblaggi di materiali leggeri e funzionalmente specializzati, decisi dal progettista a seconda delle condizioni al contorno e delle necessità di progetto. La migrazione dai sistemi costruttivi tradizionali, basati sulla sovrapposizione di elementi pesanti tridimensionali (blocchi, mattoni ecc.), ai sistemi S/R, che impiegano stratificazioni di elementi leggeri e prevalentemente bidimensionali (lastre, materassini isolanti ecc.), implica che si rendano necessarie sottostrutture secondarie di sostegno (Figura 2). Questo permette di realizzare gusci di involucro esterno ed interno separati, a costituire una morfologia del tipo "scatola nella scatola" che riduce la trasmissione delle forzanti termiche e acustiche dall'esterno verso



Figura 3. Doppio guscio – parete perimetrale: spaccato di una parete perimetrale a doppio guscio su sottostruttura metallica (fonte: Vanoncini).

Figura 4. Parete prefabbricata: la costruzione S/R consente la prefabbricazione su misura di intere porzioni di edificio (fonte: Trusjoist).



A&RT

l'ambiente abitato (Figura 3). La flessibilità applicativa delle tecniche S/R, comunque, consente di fornire risposte molto graduate alle specificità di progetto: tra il "grado zero" della stratificazione, che può essere rappresentato dalla semplice aggiunta di un cappotto isolante a una muratura, e la configurazione più performante del doppio guscio, esiste una vastissima "area grigia" intermedia in cui il progettista può prevedere soluzioni intermedie per intensità tecnologica, costo e risposta prestazionale.

Le tecniche S/R garantiscono un'efficienza costruttiva sensibilmente maggiore rispetto alle tecniche tradizionali, in particolare qualora si utilizzino modalità di assemblaggio a secco, che prevedono l'adattamento in cantiere di elementi di provenienza industriale. In questa situazione, infatti, la costruzione risulta velocizzata, grazie all'assenza dei tempi di asciugatura dei getti, l'esecuzione più precisa, dal momento che si eliminano le aleatorietà tipiche degli elementi creati direttamente in sito, e i rifiuti e gli sfridi sensibilmente ridotti.

Inoltre, le tecniche S/R presentano un'intrinseca propensione all'ecocompatibilità, grazie ad una serie di peculiarità che si possono così riassumere:

- *leggerezza intrinseca delle soluzioni tecniche*: la combinazione adeguata di materiali diversi, che collaborano fra loro sinergicamente, permette di liberarsi del peso, dal momento che le funzioni in passato attribuite alla muratura monostrato vengono ora assolte dai singoli strati specializzati. La massa, quindi, può essere concentrata solo dove è effettivamente necessaria (ad esempio per la gestione del comportamento inerziale dell'edificio), con riflessi positivi dal punto di vista strutturale, ergonomico, e in generale del risparmio di risorse. Si tenga presente, a titolo di esempio, che una parete stratificata dello spessore di 12,5 cm, in lastre di gesso rivestito su sottostruttura metallica, offre le stesse prestazioni termiche e acustiche di una muratura monostrato di 27 cm;

- *progettabilità*: in linea di principio, le soluzioni tecniche, nell'ottica S/R, vengono create specificamente per ogni intervento, accostando materiali specializzati funzionalmente e di spessore adeguato. Questa modalità operativa consente di rispondere puntualmente alle necessità prestazionali di ogni singolo progetto, che sono variabili (in quanto dipendenti dal contesto) e sempre più stringenti. Le possibilità combinatorie degli strati e la variabilità degli spessori consentono un'utilizzo efficiente dei materiali, ciascuno con un ruolo definito, evitando gli sprechi di risorse e la duplicazione delle funzioni;
- *assemblabilità a secco e reversibilità*: la modalità di montaggio che consegue naturalmente alla progettazione di soluzioni stratificate è quella a secco. Questo metodo operativo non solo minimizza, come detto, i tempi di lavorazione in cantiere, ma permette anche di ridurre l'energia incorporata nell'edificio a causa delle operazioni di trasporto e di costruzione. La bassa energia delle connessioni, che restano in genere reversibili, e la separazione fra i vari componenti delle soluzioni tecniche, consentono di svolgere con estrema semplicità le operazioni di manutenzione durante la vita utile dell'edificio;
- *riciclabilità delle parti*: la reversibilità dell'assemblaggio e la separazione fra i diversi componenti, che sono caratteristiche inerenti alla costruzione stratificata a secco, comportano una naturale propensione al disassemblaggio finale controllato dell'immobile e al riutilizzo o al riciclaggio delle parti.

L'analisi delle tendenze costruttive in atto nei Paesi dove più alto è il livello di attenzione alle problematiche ambientali consente di identificare, nella quasi infinita variabilità delle soluzioni progettuali, alcune linee evolutive ben caratterizzate.

In generale, si può affermare che la condizione più comune è quella che, con termine francese preso a prestito da

Figura 5. Finito fronte sud 1; progetto B.I.R.D., Brescia: il fronte sud caratterizzato dalle superfici vetrate per la captazione solare (fonte: AIACE Srl).
Figura 6. Finito fronte sud 2; progetto B.I.R.D., Brescia: le superfici vetrate sono protette, in estate, da un tetto ventilato aggettante (fonte: AIACE Srl).



altri contesti, si potrebbe designare come “*mixité*”, vale a dire l'uso molto libero di materiali diversi a seconda delle condizioni specifiche del singolo progetto. Risulta molto diffuso l'accoppiamento fra strutture in calcestruzzo e involucri leggeri di completamento in legno (trattandosi del sistema costruttivo tradizionale delle aree centroeuropee), ma non mancano gli esempi di strutture in acciaio ricoperte da involucri in blocchi di laterizio e cemento, o gli edifici in acciaio e legno, e così via – con il solo limite della compatibilità fisica dei materiali.

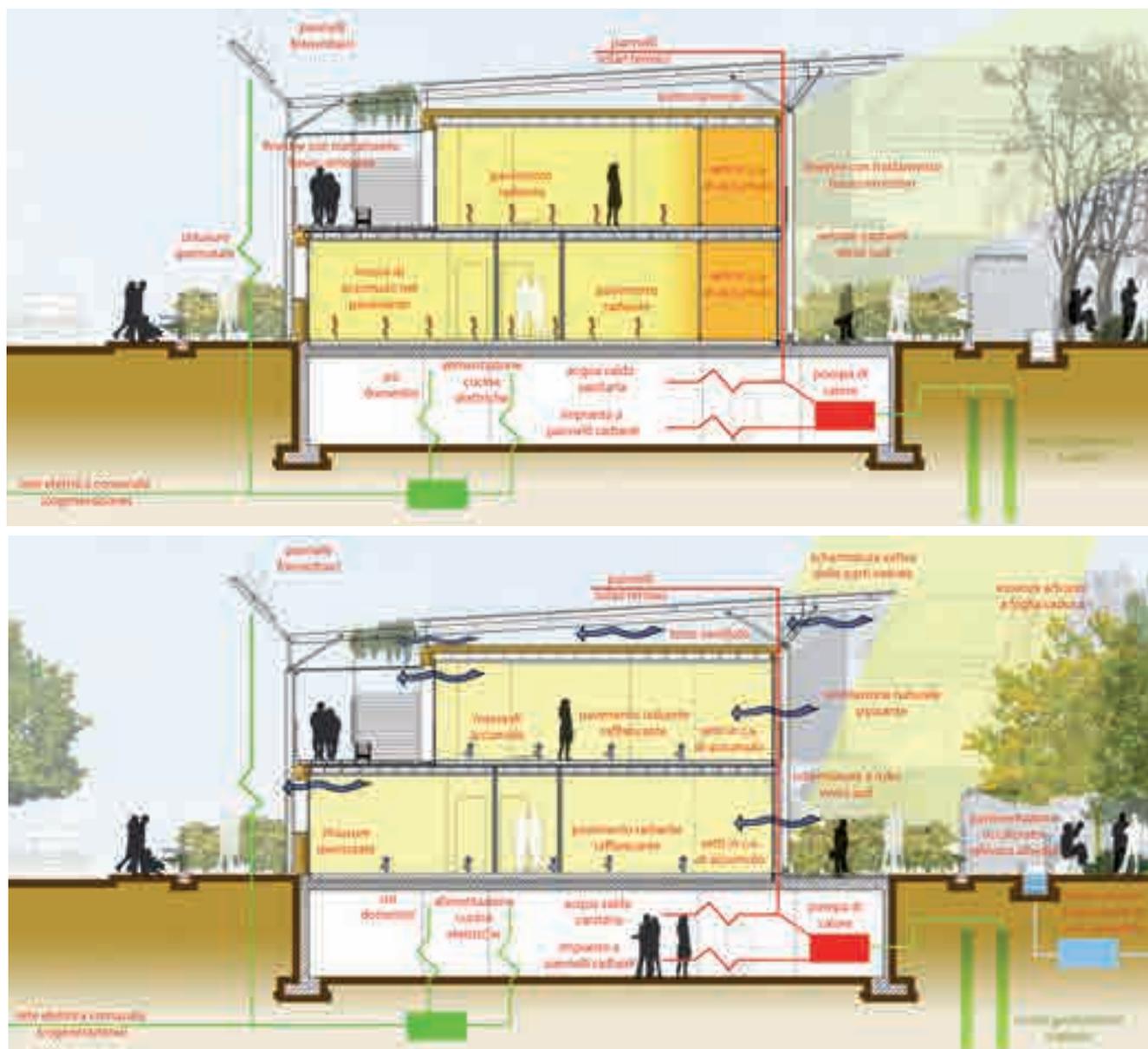
La costruzione massiccia, che conosce una stagione discretamente fortunata anche in Germania, Svizzera e Austria, viene comunque sempre accoppiata a strati di isolamento termico esterno (cappotto) di spessore ragguardevole. Questo può raggiungere i 30 cm nel caso si debba garantire lo standard di consumo energetico Passivhaus, che garantisce una quasi completa autonomia

energetica all'abitazione, come dimostrano centinaia di realizzazioni funzionanti in tutta Europa.

L'obbligo, ormai sancito dalle leggi di molti Paesi, di realizzare comunque spessori di isolamento termico di almeno 20-25 cm implica, d'altra parte, che con costruzioni massicce lo spessore complessivo della parete può raggiungere valori inaccettabili dal punto di vista economico. Inoltre, in situazioni di elevata resistenza termica l'uso della massa del muro per ottenere effetti di inerzia tra esterno ed interno non è efficace, dal momento che gli elementi massicci si trovano all'interno del cappotto isolante e sono quindi disattivati. Per questi motivi, sempre più spesso si assiste a un assottigliamento della parte pesante della muratura esterna o, addirittura, alla sua sostituzione con elementi di involucro leggeri e assemblati a secco, mentre la regolazione delle fluttuazioni di temperatura interna viene demandata agli elementi interni

Figura 7. Funzionamento invernale; progetto B.I.R.D., Brescia: strategie per il risparmio energetico in inverno (fonte: AIACE Srl).

Figura 8. Funzionamento estivo; progetto B.I.R.D., Brescia: strategie per il risparmio energetico in estate (fonte: AIACE Srl).



A&RT

(prevalentemente ai solai in calcestruzzo).

Anche nel caso degli involucri leggeri, il mercato è estremamente vivace e propone prodotti adeguati a costruzioni a basso consumo energetico caratterizzati da velocità esecutiva e facilità di manutenzione e smontaggio. In questo senso, si riscontrano somiglianze marcate fra i sistemi costruttivi in legno e quelli in acciaio, che derivano dall'evoluzione delle tecniche costruttive tradizionali (come il *Fachwerk* tedesco e il *balloon-frame* americano). Per entrambi si può introdurre la seguente tassonomia, che raggruppa le diverse soluzioni in famiglie omogenee:

- sistemi a struttura diffusa: sono parenti del *balloon-frame* e prevedono che la sottostruttura degli elementi tecnici, disposta con passo piuttosto fitto (tra 40 e 60 cm) costituisca anche la struttura portante dell'edificio. A fronte di significativi vantaggi di rapidità costruttiva e omogeneità fisica tra i diversi componenti della costruzione, che danno anche la possibilità di parziali prefabbricazioni di elementi di parete o solaio (Figura 4), si possono riscontrare problemi di flessibilità d'uso (essendo anche le partizioni interne portanti) e di comportamento termico (ogni montante della struttura è un piccolo ponte termico);
- sistemi a cellule tridimensionali: la leggerezza intrinseca delle soluzioni in acciaio e legno permette di realizzare interi elementi tridimensionali in stabilimento, completi

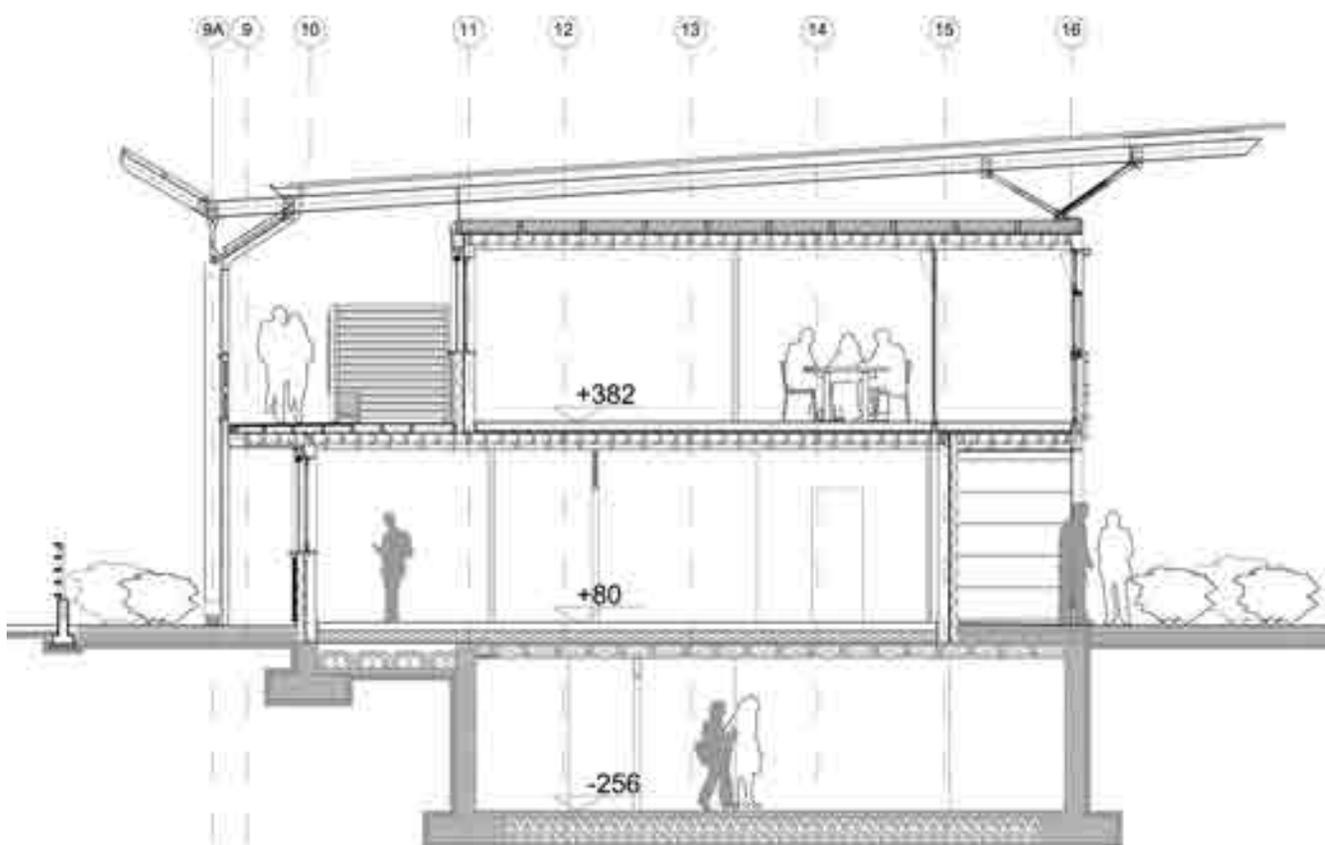
di finiture e dotazioni impiantistiche, da assemblare in cantiere per sovrapposizione o all'interno di una struttura portante già costruita. La qualità esecutiva controllata e la rapidità delle operazioni in sito si scontrano, tuttavia, con l'inevitabile rigidità distributiva degli edifici così costruiti e con le limitazioni del trasporto;

- sistemi a struttura puntiforme: sono quelli già descritti in precedenza, che separano decisamente la struttura portante dai gusci di involucro leggeri (singoli o doppi) e lasciano aperta la possibilità di mescolare materiali diversi nella stessa costruzione. Sono i più efficaci dal punto di vista termico e acustico e garantiscono la massima flessibilità, ma di conseguenza sono anche i più laboriosi da mettere in opera e i più costosi.

2. Un esempio Smart-ECO: il progetto B.I.R.D. a Brescia

Questo progetto di abitazioni per anziani a Brescia, sviluppato dal gruppo di ricerca del Politecnico di Milano guidato da Ettore Zambelli e dalla società di ingegneria AIACE, è il risultato di un approccio progettuale integrato che ha unito ricerca universitaria e attività professionale, e rappresenta un esempio molto avanzato di edificio ad alta efficienza energetica (sostanzialmente conforme agli obiettivi europei del 2020) costruito con tecniche S/R.

Figura 9. Sezione trasversale dell'edificio B; progetto B.I.R.D., Brescia: sezione di dettaglio dell'edificio residenziale, costruito con tecnologie a secco S/R (fonte: AIACE Srl).



Il progetto B.I.R.D. (Bioedilizia, Inclusione, Risparmio Energetico, Domotica) è stata un'operazione dimostrativa promossa dal Comune di Brescia, dall'ALER di Brescia e da Regione Lombardia; il suo scopo era di mostrare il potenziale di risparmio energetico in un intervento di residenza sociale e di rendere questo un caso esemplare per altri interventi simili nella regione.

Il complesso comprende tre edifici: uno ospita i servizi comuni (palestra, pronto soccorso, sala polifunzionale e bar), mentre gli altri due sono utilizzati per 52 appartamenti, che vanno da 36 a 52 m² di superficie. Per raggiungere gli obiettivi molto ambiziosi alla base dell'operazione (un fabbisogno di 50 kWh/m²anno per il riscaldamento invernale, pari circa un terzo del limite consentito nel 2005), il progetto si è basato su misure passive semplici, ma efficaci, in grado di ridurre sensibilmente il ricorso a impianti di climatizzazione.

In primo luogo, i due edifici residenziali sono orientati a sud, con l'obiettivo di ottimizzare il guadagno solare in inverno e semplificare il controllo dell'irraggiamento in estate (quando il sole è più alto sull'orizzonte). L'obiettivo invernale di conservare il calore nell'edificio è stato raggiunto attraverso un involucro molto isolato (in media $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le parti opache), realizzato sulla base di tecnologie stratificate Struttura/Rivestimento, e tramite l'adozione di ampie superfici vetrate rivolte a sud e serre bioclimatiche alternate a logge. In estate, la protezione dal surriscaldamento è garantita da un doppio tetto ventilato (un vero e proprio parasole) che scherma le aperture a sud, da protezioni solari su tutte le finestre, dall'attivazione di flussi di ventilazione passanti in tutti gli appartamenti, e dall'opportuna disposizione di masse di accumulo termico nei pavimenti.

Quando queste misure passive, integrate da un sistema di ventilazione meccanica con recupero del calore, non sono sufficienti a garantire condizioni di comfort negli appartamenti, entrano in funzione i sistemi di climatizzazione ad alta efficienza. Pompe di calore geotermiche producono acqua calda o fredda, a seconda della stagione, distribuita negli appartamenti tramite un sistema

radiante a pavimento (che è stato ritenuto la soluzione più confortevole per la particolare tipologia di utenti del complesso). Un significativo risparmio sui costi è stato garantito dall'uso di 85 sonde geotermiche superficiali, che scambiano calore col terreno secondo un percorso a spirale che limita la profondità dei pozzi a soli 15 m (la resa totale delle sonde è di 84,5 kW). La maggior parte dell'energia necessaria al funzionamento delle pompe di calore è prodotta da un impianto fotovoltaico, integrato nella copertura, che fornisce una potenza di 52 kW_p, mentre 20 m² di pannelli solari termici coprono il 90% del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

La combinazione di queste misure passive e attive, e il processo progettuale integrato che è stato adottato, hanno addirittura permesso di superare gli obiettivi iniziali: i calcoli definitivi per la certificazione energetica mostrano un fabbisogno per riscaldamento di soli 14 kWh/m²anno, collocando gli edifici in classe A+ secondo la procedura della Regione Lombardia. Questo risultato, insieme all'alta copertura del fabbisogno da fonti rinnovabili e all'utilizzo di tecnologie costruttive S/R, rendono il progetto B.I.R.D. un prototipo degli edifici del 2020.

Note

- ¹ Commissione Europea (2007), *Visione 2020: risparmiare la nostra energia*, Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità Europee, Lussemburgo.
- ² Si veda per esempio il documento di lavoro SEC (2008) 2865 dei Servizi della Commissione Europea sull'impatto della riscrittura della EPBD.
- ³ Commissione Europea (2009), *EU energy and transport in figures*, Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità Europee, Lussemburgo.
- ⁴ Per gli edifici pubblici la scadenza è anticipata al 1° gennaio 2019.
- ⁵ COM(2008) 780 e successivi documenti parlamentari.
- ⁶ I componenti del team erano Marco Imperadori, Gabriele Maserà e Giuliana Iannaccone.

Involucri verdi: una tecnologia sostenibile? *Green envelope: a sustainable technology?*

ELENA MONTACCHINI

Elena Montacchini, architetto, Ricercatore in Tecnologia dell'Architettura presso il Politecnico di Torino.

elena.montacchini@polito.it

L'utilizzo di superfici vegetali direttamente collocate sull'edificio può rappresentare una valida opportunità per inserire la natura all'interno degli spazi urbani. Da qui la grande attenzione che si sta rivolgendo verso l'applicazione del verde non soltanto sulla copertura, ma anche sulle pareti verticali. Il sistema tecnologico del verde verticale, infatti, sta suscitando sempre più l'interesse da parte delle amministrazioni pubbliche, degli enti di ricerca e delle aziende produttrici.

Attraverso la descrizione delle funzioni ambientali svolte dagli involucri verdi, la sintesi delle soluzioni tecnologiche attualmente disponibili, la verifica degli aspetti normativi, si sono volute mettere in evidenza le principali linee di ricerca e sperimentazione nel settore del verde verticale.

Looking at the vertical walls of the existing building can represent a great opportunity to improve the green spaces within the urban areas.

Growing interest is focused on plant integration not only on building roofs, but in particular on vertical walls.

Public administration, research institutes and also manufacturing companies are looking with curiosity at this new sustainable technology.

Starting from green envelope environmental functionalities description, through the summary of main actual technologies, up to norms and regulations analysis, main research fields and experimental experiences have been below described.

1. La vegetazione e l'involucro: dalle coperture alle pareti degli edifici

Dal punto di vista tecnologico, la vegetazione svolge un duplice ruolo nei confronti dell'ambiente. Da una parte rappresenta una fondamentale risorsa, e, come tale, è necessaria la sua salvaguardia; dall'altra rappresenta una vera e propria tecnologia, uno strumento in grado di modificare le condizioni dell'ambiente, se utilizzata in modo consapevole e strutturato.

La vegetazione come tecnologia per l'ambiente costruito trova, oggi, diverse applicazioni, differenti a seconda della scala di progetto, alcune ormai consolidate, altre di carattere sperimentale.

Possiamo, ad esempio, citare le barriere vegetali, adottate con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento acustico, o l'applicazione di pavimentazioni inerbiti, per mitigare il surriscaldamento di superfici urbane e facilitare il drenaggio delle acque meteoriche, o, ancora, l'utilizzo di specie vegetali per consolidare il terreno, attraverso le tecniche di ingegneria naturalistica. Quest'ultima applicazione sta trovando sempre una maggior diffusione anche in ambito urbano, in quanto consente di realizzare interventi a basso impatto ambientale, attraverso l'utilizzo piante vive o parti di esse come "materiali da costruzione", spesso in unione con altri materiali come pietra, terra, legno.

L'involucro edilizio, in questi ultimi anni, ha assunto un ruolo sempre più innovativo nel progetto.

La ricerca ha, infatti, portato all'utilizzo di nuovi materiali, di tecnologie sempre più performanti e di sperimentazioni anche di carattere formale, che hanno trasformato l'involucro in elemento chiave del progetto architettonico. L'involucro, infatti, non svolge più il solo ruolo di elemento separatore, di barriera, ma assume nuove potenzialità tecnologiche. Nell'involucro si sono concentrate funzioni e prestazioni diverse, sempre più innovative, in grado di ottimizzare le interazioni tra ambiente esterno e ambiente interno.

Dall'innovazione e dalla sperimentazione tecnologica su questi due temi progettuali, nasce l'involucro edilizio vegetale. Per quanto riguarda le coperture dell'edificio, le tecnologie, gli esempi realizzati, i dati sperimentali sulle prestazioni ambientali, sono già ampiamente diffusi e maturi, non soltanto a livello internazionale, ma anche in Italia¹. Diverso è invece per l'applicazione di superfici vegetali sulle pareti verticali degli edifici, che rappresentano oggi un tema di grande interesse da parte di progettisti, aziende di settore, amministrazioni pubbliche ed enti di ricerca.

A partire dalle geniali sperimentazioni di Patrick Blanc, che realizza veri e propri arazzi vegetali verticali – come ad esempio il museo di Quai Branly, progettato da Jean Nouvel a Parigi – lo sviluppo di ipotesi tecnologiche sempre più efficaci, sul piano dell'integrazione delle specie vegetali nell'involucro, si sta diffondendo, presentando tuttavia ancora alcuni elementi di criticità.

2. Obiettivi e prestazioni del sistema tecnologico "parete verde"

Il verde come rivestimento di pareti esterne degli edifici, oltre ad avere forti implicazioni dal punto di vista estetico-ornamentale, costituisce anche un elemento importante dal punto di vista ambientale. Nel tessuto urbano è, inoltre, evidente come la percentuale di superfici verticali sia maggiore di quelle orizzontali, e come possa quindi risultare interessante studiare le potenzialità dell'impiego di pareti verdi.

Per cercare di dare una risposta sull'effettiva sostenibilità del sistema tecnologico "parete verde" e per indagare gli aspetti di criticità e le potenzialità legate a questa tecnologia, è necessario analizzare gli obiettivi funzionali e le prestazioni che tale sistema è in grado di offrire.

Le principali funzioni ambientali delle pareti verdi sono:

- mitigazione del fenomeno "isola di calore" e controllo del microclima;
- schermo alla radiazione solare e raffrescamento evaporativo;
- miglioramento della qualità dell'aria;
- mitigazione dell'inquinamento acustico;
- inserimento paesaggistico;
- funzione produttiva;
- funzione psicologica.

Queste prestazioni ambientali – che sono ormai riconosciute e consolidate da numerose ricerche scientifiche nazionali e internazionali per quanto riguarda le relazioni tra vegetazione e ambiente costruito – solo recentemente sono state valutate e studiate per la specifica funzione del verde verticale, e ad oggi, non disponiamo ancora di dati completi ed esaurienti.

Per quanto riguarda la funzione di mitigazione dell'"isola di calore" urbana, è riconosciuta una effettiva diminuzione delle temperature superficiali di pareti verticali vegetali, con conseguente contributo al miglioramento delle condizioni ambientali degli spazi esterni adiacenti agli edifici. Tale diminuzione, che può attestarsi anche intorno ai 10°C (Mazzali, 2010)², determina, inoltre un evidente vantaggio sui consumi energetici legati alla climatizzazione.

L'effetto di schermo alla radiazione solare è influenzato dal rapporto di copertura, dalla densità fogliare (Zaiyri, 1999)³ e dalle caratteristiche della specie vegetale (Lam, 2003)⁴.

Per quanto riguarda il miglioramento della qualità dell'aria, risultano interessanti alcuni studi che hanno approfondito il tema della qualità dell'aria indoor, verificando la possibilità di utilizzare le piante per ottenere un significativo abbattimento di composti organici volatili (VOC), quali formaldeide, toluene, tricloroetilene. Ad esempio, il muro vegetale attivo, NEDLAW Living Walls⁵, sfrutta la combinazione di parete verde e sistema di ventilazione meccanica per realizzare processi di biofiltraggio dell'aria, che avvengono grazie alla presenza di microrganismi che vivono in corrispondenza dell'apparato radicale delle piante.

Le pareti verdi possono, inoltre, offrire un contributo alla riduzione del rumore ambientale in ambito urbano attraverso prestazioni di riduzione acustica e mascheramento del rumore. Il controllo acustico è direttamente proporzionale allo spessore e alla densità del manto fogliare.

Gli aspetti legati alla mitigazione e riduzione dell'impatto sul paesaggistico del costruito sono, inoltre, importanti fattori da valorizzare, in relazione soprattutto a determinati contesti ambientali. L'impiego, ad esempio nel terziario, di sistemi che usano elementi naturali sugli involucri edilizi può migliorare significativamente l'immagine complessiva degli edifici, mitigare l'impatto visivo che le strutture industriali generano nel paesaggio, aumentare la presenza di aree verdi in zone antropizzate, oltre a consentire un significativo risparmio energetico, in particolare per quanto riguarda il surriscaldamento estivo.

La funzione produttiva delle pareti verdi, intese come veri e propri orti verticali, rappresenta una nuova occasione progettuale per le aree urbane. Un interessante progetto sperimentale, Urban Farming Food Chain⁶, è stato attuato nella città di Los Angeles, dove sono stati realizzati

A&RT



Figure 1a, 1b. La vegetazione come tecnologia: applicazione nelle pavimentazioni permeabili (a), nelle palificate vive di sostegno (b).

Figura 2. Parete verde di Patrick Blanc, Museo di Quai Branly, Jean Nouvel, Parigi.

Figura 3. Il "giardino verticale" realizzato da Enel e dal Comune di Milano.

Figura 4. Parco MFO, Zurigo.

Figura 5. Modulo di parete verde Reviwall - Vivai Reviplant (Moncalieri, TO).

Figura 6. Prototipo di "Sistema Parete GRE_EN_S", Energetica, Torino 2011.

70.000 m² di pareti verdi destinati alla coltivazione, sfruttando anche spazi di risulta all'interno dell'area urbana, quali muri ciechi ed aree parcheggio. Questa iniziativa ha assunto un importante ruolo anche dal punto di vista sociale, in quanto attraverso la cura e la manutenzione delle aree verdi si è incoraggiata la collaborazione tra persone economicamente svantaggiate, offrendo opportunità di formazione e di coinvolgimento all'interno della comunità. Questa idea di "facciata commestibile", unita all'integrazione di elementi naturali nell'ambiente, offre, infatti, opportunità interessanti di sperimentazione nelle aree urbane.

La presenza del verde negli spazi urbani è sicuramente fondamentale anche per il benessere psicologico dell'uomo. Questi temi sono stati indagati da parte di psicologi, in particolare negli Stati Uniti, già da diversi anni. È stato dimostrato che la vista del verde riduce lo stress e il livello di paura e agisce in modo attivo nel provocare sentimenti positivi.

Diversi studi hanno correlato gli aspetti psicologici legati alla presenza di vegetazione all'interno di particolari ambienti, quali gli ambienti di lavoro o le strutture ospedaliere.

L'involucro edilizio deve essere in grado di integrare funzioni diverse, attraverso pacchetti tecnologici e soluzioni impiantistiche che possano rispondere ad esigenze di contenimento energetico, basso impatto ambientale, uso razionale delle risorse, esigenze ormai codificate e riconosciute anche a livello normativo.

Una sperimentazione in questa direzione è stata effettuata in un edificio della zona di Porta Ticinese a Milano. L'intervento, patrocinato da Enel e dal Comune di Milano, si sviluppa in un giardino verticale che ospita diverse specie vegetali. Il sistema viene alimentato attraverso un impianto di irrigazione automatizzato che impiega energia prodotta da moduli fotovoltaici collocati in prossimità della parete, permettendo, nel complesso, un risparmio di anidride carbonica annua. Questo intervento sfrutta quindi l'integrazione tra elementi naturali e sistemi di produzione energetica da fonti rinnovabili.

3. Tecnologie e strumenti per il progetto

La vegetazione utilizzata come rivestimento esterno di muri verticali non rappresenta una novità nella progettazione edilizia. Attraverso lo sviluppo di sistemi tecnologici sempre più "innovativi" sono stati superati tuttavia una serie di limiti che derivavano dalle soluzioni di tipo "tradizionale", quali l'utilizzo di specie rampicanti direttamente addossate al paramento esterno dell'edificio.

Oggi possiamo principalmente indicare due tipologie di pareti verdi.

La prima è costituita da specie vegetali rampicanti che crescono aggrappandosi a strutture di sostegno ancorate all'edificio, con l'apparato radicale posto in piena terra. Questa tipologia è già molto consolidata, sia attraverso

esempi di architetture realizzate sia attraverso prodotti per l'edilizia, quali elementi rigidi di materiali diversi o strutture tesate, quali cavi o reti.

Recenti sviluppi tecnologici consentono di realizzare vere e proprie coltivazioni verticali. Le pareti verdi propriamente dette, definite anche biomuro, muri viventi, giardini verticali, sono strutture realizzate in modo che la radicazione e lo sviluppo della vegetazione possa avvenire direttamente su superficie verticale.

Questa seconda tipologia, su cui si sta concentrando l'attenzione di progettisti e aziende, può essere classificata in base a diverse caratteristiche:

- substrato di coltura (fibra di cocco, feltro ecc.);
- specie impiegate (monocoltura o associazioni vegetali);
- collocazione (ambiente interno o esterno);
- sistema di circolazione dell'aria (attivo o passivo);
- presenza intercapedine retrostante (integrata all'edificio o aggiunta nell'inserimento successivo dei pannelli);
- sistema di aggancio;
- peso del pacchetto tecnologico impiegato;
- spessore;
- tipologia di superficie (modulare o continua).

In relazione a quest'ultima caratteristica, si sottolineano le due modalità differenti di realizzazione:

- sistemi a superficie di radicazione continua;
- sistemi a superficie di radicazione modulare.

I sistemi a radicazione continua vengono assemblati direttamente in cantiere, quindi non possono essere prevegetati in vivaio; questi sistemi presentano costi di impianto e manutenzione piuttosto elevati, ma permettono scelte compositive molto varie, attraverso la possibilità di effettuare disegni articolati con la vegetazione.

Il principio di questo sistema, si basa sul potere di assorbimento dell'acqua da parte di alcuni materiali e sulla capacità di alcune piante di sviluppare un apparato radicale superficiale, adattandosi al supporto. Generalmente sono realizzati attraverso l'utilizzo di un rivestimento in tessuto sintetico, su cui vengono praticati dei fori, dentro ai quali viene inserito il substrato e le piante, insieme all'indispensabile sistema di irrigazione.

Per evitare infiltrazioni di umidità all'interno dell'edificio, il sistema deve essere separato dal muro esterno attraverso l'utilizzo di opportuni elementi distanziatori, creando così un'intercapedine.

Il più famoso esempio è rappresentato dal *Mur Vegetal*[®] di Patrick Blanc.

A partire dal brevetto di Patrick Blanc, caratterizzato da un'unica superficie vegetata, si sono sviluppate altre soluzioni tecnologiche, con l'obiettivo di risolvere la problematica legata al "pronto effetto".

I sistemi a superficie di radicazione modulare sono, infatti,

A&RT

realizzati attraverso moduli complanare di spessore, dimensione e materiali variabili.

Numerose aziende hanno sviluppato sistemi modulari prevegetati in vivaio; esiste ormai un vasto repertorio di brevetti accomunati proprio dalla modularità, che differiscono principalmente nelle dimensioni del modulo stesso e nei materiali impiegati nel pacchetto tecnologico.

Tra le altre caratteristiche di questi sistemi ricordiamo la trasportabilità, la velocità di posa in opera e la possibilità di sostituzione di singoli pannelli, in caso di manutenzione.

Per consentire una diffusione su larga scala della tecnologia del verde verticale, oltre agli aspetti di tipo tecnico ancora da approfondire, è importante che ne venga riconosciuto il valore come strumento di mitigazione e compensazione ambientale, attraverso l'emanazione di specifiche normative o attraverso sistemi di incentivazione.

In Italia non esiste una vera e propria regolamentazione del verde parietale.

A livello internazionale lo strumento normativo più interessante è rappresentato dall'esperienza della città di Berlino. Infatti, già nel 1980, la città di Berlino introduce un indice di valutazione e di promozione delle aree verdi, il BAF (*Biotope Area Factor*), che tiene conto sia di aree verdi sul suolo, sia in copertura e in verticale. Il BAF è applicabile a tutte le destinazioni d'uso (commerciale, residenziale, terziario) ed esplicita lo standard ecologico minimo che una nuova costruzione o una ristrutturazione deve garantire.

A livello nazionale, l'indice RIE (Riduzione Impatto Edilizio) della città di Bolzano valorizza l'incremento di superfici verdi, ma non tiene ancora in considerazione il verde verticale.

Oltre a specifiche normative, anche i Regolamenti edilizi rappresentano efficaci mezzi per diffondere una cultura progettuale attenta agli aspetti legati alla sostenibilità ambientale, per indirizzare il mercato verso standard qualitativi più elevati. Negli ultimi dieci anni in Italia diversi Regolamenti Edilizi hanno promosso la diffusione di tecnologie ecocompatibili, tra cui anche la tecnologia della copertura verde, attraverso forme di incentivazione e talvolta anche di prescrizione, con conseguente aumento di edifici realizzati con questi sistemi.

Per quanto riguarda il verde verticale, ad oggi sono soltanto alcuni i comuni – ad esempio il Comune di Carugate o il Comune di Firenze – che hanno aggiornato i regolamenti edilizi facendo riferimento a questa tecnologia, intesa come strumento di mitigazione ambientale rivolto a diminuire l'effetto “isola di calore” e di controllo termo igrometrico delle pareti esterne.

4. Ricerca e sperimentazione

La ricerca nel settore del sistema tecnologico del verde verticale è impegnata su più fronti. I temi che sono

maggiormente indagati riguardano:

- l'utilizzo di specie vegetali idonee;
- la valutazione delle prestazioni energetiche;
- la gestione ambientale del prodotto;
- il controllo della concentrazione di sostanze nocive in ambiente indoor.

Attraverso, ad esempio, il progetto AROMA il Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio della Facoltà di Agraria di Torino è impegnato a valutare l'adattabilità di specie aromatiche della macchia mediterranea alla coltivazione in verticale, al fine di limitare il più possibile l'apporto di acqua.

Il tema della valutazione delle prestazioni energetiche vede coinvolti alcuni gruppi di ricerca, tra cui Facoltà di Architettura dell'Università IUAV di Venezia o il DENER del Politecnico di Torino, nella realizzazione di campagne di monitoraggio su facciate verdi di nuova generazione e nella messa punto di strumenti di modellazione per dimostrare le potenzialità di questi sistemi in termini di efficienza energetica.

Il progetto GRE_EN_S – GREen ENvelope System, finanziato dalla Regione Piemonte, coordinato dal Dipartimento DINSE del Politecnico di Torino, con la partecipazione di altri gruppi di ricerca (il Dipartimento DENER del Politecnico di Torino e il Dipartimento AGROSELVITER dell'Università degli Studi di Torino insieme ad alcune aziende del settore dell'edilizia sostenibile) ha come obiettivo la progettazione di un “sistema parete verde” modulare e disassemblabile, caratterizzato da rivestimento vegetale e da materiali riciclati.

Con il progetto GRE_EN_S, attraverso un approccio multidisciplinare, si vuole individuare la fattibilità tecnica ed economica di una filiera di recupero di prodotti che possono essere impiegati come componenti in un sistema parete verde, mettere a punto un prototipo e monitorarne le prestazioni energetiche e ambientali, con l'obiettivo di realizzare moduli insediativi industrializzati leggeri.

Lo sviluppo di un sistema di involucro verde, realizzato a partire da materiali di recupero da rifiuti speciali, ad alte prestazioni, di facile inserimento architettonico e ambientale, in grado di essere replicato a scala industriale rappresenta, dunque, una soluzione innovativa, in linea con gli obiettivi e i settori strategici promossi dalle recenti politiche nazionali e internazionali.

Conclusioni

L'analisi dello stato dell'arte delle soluzioni tecnologiche attualmente adottate per le “pareti verdi” mette in evidenza alcuni aspetti importanti.

Un fattore fondamentale è quello economico. Le tipologie di muro vegetale più diffuse presentano costi troppo elevati per una diffusione in larga scala. Tali sistemi hanno caratteristiche talvolta di tipo artigianale, non adatte a una

produzione industrializzata.

Non sono ancora consolidate le caratteristiche di prestazione energetica e acustica dei prodotti e non sempre sono evidenti le caratteristiche di eco compatibilità degli stessi.

Un approccio sistemico al ciclo di vita dell'edificio è ormai considerato il denominatore comune che caratterizza la progettazione ambientale e in tale contesto non è possibile tralasciare lo studio delle caratteristiche ambientali degli elementi di involucro.

Un altro aspetto fondamentale è legato all'utilizzo di superfici verdi come strumento di controllo ambientale di aree esterne.

L'inverdimento verticale può essere anche un'ottima occasione per riqualificare localmente zone urbane di bassa qualità architettonica, senza trascurare anche i benefici di carattere psicologico, consolidati in letteratura, legati alla vista su uno spazio verde.

Note

- ¹ In Italia il progressivo interesse per la realizzazione di coperture a verde ha portato alla definizione di una norma tecnica: UNI 11235:2007 *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*; diverse forme di

incentivazione e talvolta anche di prescrizione si stanno diffondendo sul territorio nazionale, dove possiamo trovare esempi di strumenti urbanistici o di regolamenti edilizi o ancora di sistemi per l'incentivazione, sia a livello regionale, sia provinciale e comunale.

- ² U. Mazzali, F. Peron, V. Tatano, *Il verde verticale: effetti energetici di un sistema di rivestimento*, in «Il Progetto Sostenibile», 27, 2010.

- ³ L. Zaiyri, J. Niu, *Study on thermal function of ivy-covered walls*, 6th International IBPSA Conference, 1999.

- ⁴ I. Kenneth, M. Lam, *Bioshaders for sustainable building*, in *Proceedings of the CIB 2004 World Building Congress*, 1st-7th May 2004, Toronto, Canada.

- ⁵ NEDLAW Living Walls è un brevetto sviluppato a partire da un progetto di ricerca del dipartimento di biologia ambientale presso l'Università di Guelph sul biofiltraggio dell'aria indoor, nel 1994; è in commercio da 2001.

- ⁶ www.urbanfarming.org.

Bibliografia

A. Bellomo, *Pareti verdi. Nuove tecniche*, Sistemi Editoriali, Napoli 2009

O.E. Bellini, L. Daglio, *Verde verticale. Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green facades*, Maggioli, Rimini 2009

V. Tatano, (a cura di), *Verde: naturalizzare in verticale*, Maggioli, Rimini 2008

Il ruolo dei materiali dell'involucro edilizio tra certificazione di prodotto e nuove direttive nel settore dell'efficienza energetica

The environmental assessment of building materials with regards to Product Labels and European Directive concerning the energy efficiency

ROBERTO GIORDANO

Roberto Giordano, architetto e dottore di ricerca in tecnologia dell'architettura e dell'ambiente. Ricercatore presso il Politecnico di Torino.

roberto.giordano@polito.it

Il problema della valutazione dell'ecocompatibilità dei materiali e dei componenti edilizi è ben noto. Lo provano le ricerche che si sono avvicinate a partire dalla seconda metà degli anni '90 e che, in alcuni casi, sono ancora in corso. Gli studi avevano (o hanno) l'obiettivo di mettere a punto indicatori in grado di misurare le prestazioni ambientali dei prodotti da costruzione. I risultati raggiunti, nella maggior parte dei casi, non sono stati in grado di esprimere veri e propri strumenti di valutazione, soprattutto quando questi ultimi erano indirizzati a connotare le scelte in fase di progettazione preliminare. L'opportunità di superare tale impasse è rappresentata da due recenti direttive. La prima, rivolta a sviluppare specifiche tecniche sulle caratteristiche energetico-ambientali dei prodotti; la seconda, finalizzata a determinare il bilancio energetico di un edificio includendo il fabbisogno di energia primaria imputabile alla fase di produzione fuori opera dei materiali.

The environmental sustainability assessment of building materials is a well known critical issue. The theoretical and technical difficulties were shown by several researches started in the nineties and sometime still ongoing. Most of the researches were (or are) addressed to develop indicators in order to provide ecological information about materials but only few outcomes can be assumed as really considerable for an environmental assessment. Such difficulties are particularly relevant for those tools addressed at helping architects to select sustainable options during the design stage. Two European directives recently issued become the opportunity to overtake such impasse. The former, aimed at carrying out building product's data sheet concerning the energy and environmental performances of product itself. The latter, aimed at developing a methodological approach including the calculation of the primary energy needs due to production stage of building materials.

La tecnologia dell'architettura ha – da sempre – assegnato all'involucro edilizio un'importanza strategica per garantire condizioni di benessere negli ambienti confinati. E. Allen¹ teorizza il concetto di involucro come terza pelle a cui è demandato il compito, al pari di un indumento, di impiegare accorgimenti passivi per tenere sotto controllo le correnti naturali di calore, aria e vapore acqueo al fine di garantire il benessere di chi occupa l'edificio. La normativa vigente – e quella in via di recepimento – sia a livello nazionale sia a livello locale ha posto una particolare attenzione al tema dell'efficienza energetica introducendo requisiti connessi al fabbisogno di energia primaria del sistema edificio-impianto e, in alcuni casi, al fabbisogno di energia netta. Gli strumenti di valutazione attraverso i quali è possibile determinare tali fabbisogni considerano diversi parametri connessi alle

caratteristiche morfologiche dell'immobile, alla tipologia di impianto di riscaldamento/raffrescamento e, infine, alle prestazioni fisico-tecniche degli elementi tecnici che confinano verso l'esterno o verso gli ambienti non riscaldati. Per garantire prestazioni conformi ai requisiti normativi, ai materiali e ai componenti edilizi è richiesto di fornire adeguati valori di conducibilità e di permeabilità, in modo da controllare il flusso di calore che attraversa le chiusure e le partizioni ed eliminare fenomeni di condensa superficiale o interstiziale.

L'ottimizzazione dei fabbisogni di energia primaria del sistema edificio ha comportato l'esigenza di realizzare nuovi prodotti da costruzione contraddistinti da prestazioni superiori rispetto a quelle che venivano offerte fino a pochi anni fa. Tuttavia l'innovazione tecnologica non si è limitata a realizzare prodotti isolanti di maggiore spessore o serramenti a tenuta, l'innovazione si è concentrata, e si sta concentrando, nello sviluppo e nella sperimentazione di prodotti in grado di soddisfare i limiti di trasmittanza con spessori ridotti (aerogel), o in grado di adattare le proprie caratteristiche al mutare delle condizioni climatiche stagionali (materiali a cambiamento di fase - PCM).

La sperimentazione appena descritta si sta accompagnando a un altro fenomeno, considerato da molti "innovativo", che riguarda le caratteristiche di ecocompatibilità dei prodotti e dei componenti edilizi. Si tratta della certificazione ambientale di prodotto che negli ultimi anni è stata oggetto di una rapida evoluzione. Chi si occupa di marketing è consapevole che associare al prodotto l'aggettivo "ecologico" conferisce allo stesso una maggior attrattività per i consumatori/utilizzatori. Non si può però trascurare che alcune certificazioni ambientali si limitano a considerare aspetti parziali che possono concorrere a classificare il prodotto come ecocompatibile ma non ne garantiscono la piena sostenibilità ambientale. Inoltre, la maggioranza delle certificazioni ambientali non fornisce dati disaggregati riguardanti il fabbisogno energetico o i rilasci in aria, acqua e suolo del sistema di produzione, trasporto e smaltimento, si limita ad attestare informazioni particolari o omnicomprensive, dichiarando, ad esempio, che il prodotto è riciclato, oppure, che per il prodotto non sono stati utilizzati clorofluorocarburi.

Se, dunque, la certificazione non è sufficiente, quali sono gli indicatori attraverso i quali valutare l'ecocompatibilità di un prodotto edilizio e, ancora, quale è l'impatto che si può attribuire alla fase di produzione fuori opera o alla fase di smaltimento, rispetto alla cosiddetta fase di esercizio? Negli scorsi anni sono state avviate numerose iniziative, alcune di ricerca, altre di carattere normativo volontario, entrambe finalizzate a sviluppare metodologie di valutazione e indicatori di misura dell'ecocompatibilità dei prodotti. I risultati raggiunti non sono stati in grado di produrre dei cambiamenti rilevanti nell'attività di progettazione. La complessità del tema ha fatto sì che i pochi sistemi di valutazione, in

cui sono stati introdotti aspetti connessi all'ecocompatibilità, abbiano sviluppato requisiti e indicatori generici, basati in massima parte su un approccio di presenza vs assenza di alcune caratteristiche. Ad esempio, contrapponendo i prodotti di origine naturale a quelli di origine petrolchimica. L'attività svolta non è, però, da considerare inefficace, può, come verrà di seguito descritto, trovare una piena valorizzazione nell'attuazione di due recenti direttive finalizzate alla progettazione dei prodotti che consumano energia (direttiva 2009/125/CE) e alla realizzazione di edifici a "energia zero".

1. L'impatto energetico-ambientale dei prodotti da costruzione

L'ENEA² ogni anno elabora i dati sui consumi energetici suddivisi per settori. Il rapporto del 2009 evidenzia che riscaldare e raffrescare gli edifici richiede ancora molta energia. Tale richiesta è sostanzialmente simile tra continenti, sebbene si evidenzino alcune inversioni di tendenza dei consumi di alcune nazioni.

In Europa il 30% dei consumi finali di energia è da assegnare al settore residenziale e al terziario³. Il dato è preoccupante sebbene il continente Euroasiatico nel quindicennio compreso tra il 1990 e il 2006 sia stato capace di ridurre i consumi energetici del 7,47%⁴ mantenendo inalterate le condizioni di benessere e di produttività (i dati si riferiscono al 2007, due anni prima della crisi economica mondiale), merito, in buona parte, delle politiche di efficienza energetica messe in atto da alcuni Paesi Europei, primi fra tutti, la Germania, la Francia e l'Inghilterra.

Se i dati appena illustrati sono noti, lo sono meno quelli concernenti il settore industriale, che comprende attività siderurgiche, meccaniche, chimiche e petrolchimiche, tessili, ceramiche e, ovviamente, la produzione edilizia.

In Italia il dato sui consumi finali di energia riflette quello europeo, senza che vi siano scostamenti sensibili tra i consumi ascrivibili ai vari settori. Le attività manifatturiere richiedono circa il 27% dei consumi finali di energia, collocandosi di poco sotto il settore residenziale e terziario. La produzione siderurgica è quella che richiede più risorse energetiche, pari a circa 1786 milioni di TEP⁵, seguita dai materiali da costruzione, con 1155 milioni di TEP. Ciò significa che il 18% dei consumi finali di energia nel settore industriale è destinato a produrre i materiali con i quali si costruiscono e ristrutturano gli edifici (Figura 1). Sulla base delle informazioni riportate si può dedurre che i consumi di energia destinati alla produzione edilizia costituiscono una quota minoritaria rispetto a quella necessaria a soddisfare i fabbisogni nel settore residenziale e terziario, ma affatto trascurabile in valore assoluto. In particolare, vi è da rilevare che dal 2004 si è assistito a una contenuta ma costante decrescita dei consumi di energia nel settore del residenziale (-2%) a cui è associato

A&RT

un piccolo ma progressivo aumento dei medesimi consumi nella produzione dei materiali da costruzione (+1,8%). È probabile che non vi sia un nesso logico tra i due andamenti, allo stesso tempo non si può tralasciare che il rispetto di alcune prestazioni fisico-tecniche previste dalla normativa nazionale e locale comporti un maggiore spessore e, di conseguenza, un peso specifico superiore per alcuni prodotti come: gli isolanti, i vetri e i termointonaci. È inevitabile, infatti, che aumentando la quantità in peso di un materiale, che costituisce uno degli strati funzionali dell'elemento tecnico, si incrementi la produzione industriale dello stesso.

2. Il quadro di riferimento normativo

A livello normativo si stanno compiendo i primi passi nella direzione di un riconoscimento dell'importanza delle diverse fasi che caratterizzano il ciclo di vita di un edificio. La direttiva 2009/125/CE, recepita in Italia dal Decreto Legislativo n. 15 del 16 febbraio 2011, stabilisce che alcune categorie di prodotti edilizi possano influenzare il bilancio energetico-ambientale complessivo del sistema edificio. Il Decreto fa esplicito riferimento ai serramenti e ai materiali per l'isolamento termico, inoltre, definisce le specifiche che dovranno essere osservate dai produttori nella redazione delle schede tecniche dei prodotti.

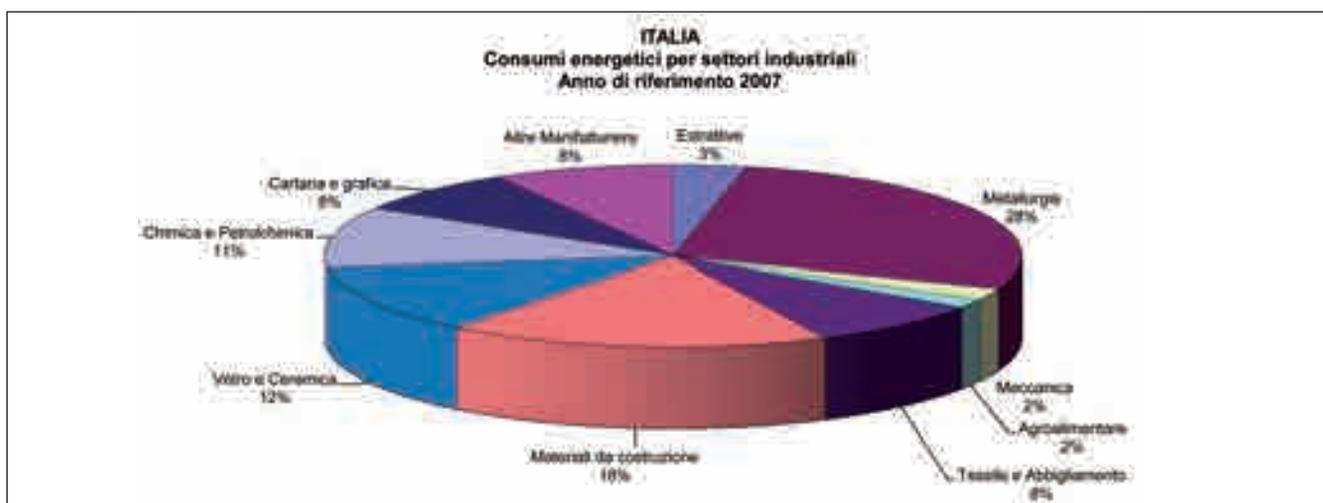


Figura 1. Consumi finali di energia dei vari settori che compongono le attività manifatturiere, anno 2007, dati in migliaia di TEP.
Figura 2. Esempio di scheda-prodotto ispirata ai contenuti della direttiva 2009/125/CE.

WOOL FELT (100% wool)	ENVIRONMENTAL Characteristics	PERFORMANCE Characteristics
 <p>SUPPLIER Information</p> <p>Manufacturer: www.wool.com</p> <p>Distributor: www.wool.com</p> <p>Contact: www.wool.com</p>	Embodied Energy E_{emb} [MJ/kg]	Structure: www.wool.com
	Embodied Carbon E_{emb} [kg/kg]	Shoe and Foot: www.wool.com
	TVOC emission factor E_{TVOC} [mg/kg]	Density ρ [kg/m ³]
	Address	Specific heat C_p [kJ/kg·K]
	Region	Compression strength
	Composition	Flexion test
	Recycling content	Fire test
	Environmental labels	Thermal Conductivity λ [W/m·K]
		Water vapour resistance factor μ
		Strong Acid resistance
	Strong Alkali resistance	
	UV resistance	

Elemento Tecnico		Strati dell'elemento tecnico	Densità	Spessore	Peso per unità di sup.	Contenuto Energia Primaria totale		Contenuto Energia Primaria da rinnovabili	
N. elemento	1	Lato interno	[kg/m ³]	[m]	[kg/m ²]	CEP [MJ/kg]	CEP [MJ/m ²]	CEP [MJ/kg]	CEP [MJ/m ²]
	1	Intonaco a base cementizia	2000	0,015	30,00	6,42	192,60	0,2	6,00
	2	Lana minerale (lana di roccia)	800	0,08	64,00	1,93	108,08	0,04	2,24
	3	Protezione termica (pannello EPS)	10	0,10	1,20	88,05	105,66	-2,22	-2,66
	4	Lana minerale (lana di roccia)	800	0,12	96,00	1,93	185,28	0,04	3,84
	5	Intonaco a base cementizia	2000	0,025	50,00	6,42	321,00	0,2	10
	6								
	7								
	8								
	9								
		Lato esterno/interno	Totale →	0,36	233,20	Totale →	912,62	Totale →	19,42

INDICE RINNOVABILITÀ DELL'ELEMENTO TECNICO				
IR	CEP RINN [MJ/m ²]	19,42	× 100 =	2,13%
	CEP TOT [MJ/m ²]	912,62		

Elemento Tecnico		Strati dell'elemento tecnico	Densità	Spessore	Peso per unità di sup.	Contenuto Energia Primaria totale		Contenuto Energia Primaria da rinnovabili	
N. elemento	2	Lato interno	[kg/m ³]	[m]	[kg/m ²]	CEP [MJ/kg]	CEP [MJ/m ²]	CEP [MJ/kg]	CEP [MJ/m ²]
	1	Lana minerale (lana di roccia)	800	0,013	10,4	9,79	101,82	7,92	82,37
	2	Intonaco in Gesso	0	0,002	0,16	39,11	6,26	25,57	4,09
	3	Intonaco in Gesso	450	0,025	11,25	30,55	343,69	19,17	215,66
	4	Fibra di cellulosa	50	0,16	8,00	9,24	73,92	1,06	8,48
	5	Intonaco in Gesso	450	0,025	11,25	30,55	343,69	19,17	215,66
	6	Lana minerale (lana di roccia)	800	0,002	1,68	88,42	166,23	2,17	3,98
	7	Intonaco in Gesso	850	0,11	26,00	0	0	0	0
	8	Intonaco in Gesso	350	0,034	11,9	30,55	363,55	19,17	228,12
	9								
		Lato esterno/interno	Totale →	0,30	179,94	Totale →	1399,14	Totale →	758,37

INDICE RINNOVABILITÀ DELL'ELEMENTO TECNICO				
IR	CEP RINN [MJ/m ²]	758,37	× 100 =	54,20%
	CEP TOT [MJ/m ²]	1399,14		

EE totale edificio	Superficie edificio	EE per unità di superficie		Ciclo vita edificio - <i>expected life</i>	
		MJ/m ²	kWh/m ²	25 anni kWh/m ²	60 anni kWh/m ²
1.820.000	200	9.100	2.527,78	101,10	42,13

Tabella 1. Protocollo di valutazione dell'EE e dell'IR dell'elemento "benchmark".

Tabella 2. Protocollo di valutazione dell'EE e dell'IR della parete ventilata in legno.

Tabella 3. EE totale dell'edificio in relazione a due scenari di durata dell'edificio stesso.

A&RT

Secondo il provvedimento legislativo è necessario che siano disponibili all'utilizzatore informazioni sulle modalità di fabbricazione, sulle prestazioni ambientali significative, sulle modalità di installazione e sulle modalità di smaltimento.

In pratica è richiesta l'elaborazione di un profilo ecologico all'interno del quale è necessario quantificare secondo grandezze fisiche misurabili il flusso di input in entrata nel processo di produzione (risorse energetiche primarie, risorse energetiche derivate e materiali) e il flusso di output in uscita dallo stesso processo (rilasci in aria, acqua e rifiuti). Il decreto nel definire le modalità attraverso le quali elaborare il profilo ecologico di un prodotto si richiama a una norma tecnica, la UNI EN ISO 14040: Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento. Il profilo ecologico costituisce altresì un'interessante implementazione della marcatura o della dichiarazione di conformità CE. Il decreto stabilisce, inoltre, che i produttori mettano a disposizione del pubblico le informazioni contenute nel profilo ecologico al fine di farle diventare parte integrante della documentazione tecnica che riassume le principali caratteristiche prestazionali del prodotto.

I contenuti del decreto sono stati applicati nel progetto di sviluppo sperimentale e pre-industriale GRE_EN_S (GREen ENvelope System), il cui obiettivo è la realizzazione di un sistema parete verde ad alto contenuto tecnologico prodotto con materiali ecocompatibili. GRE_EN_S è progetto coordinato dal Gruppo di Ricerca TeAM (Tecnologia e Ambiente – Dipartimento DINSE) del Politecnico di Torino e finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito delle attività del Polo di Innovazione POLIGHT (Polo della bioedilizia e dell'idrogeno). Una specifica fase del progetto è dedicata allo studio dei prodotti e dei componenti che andranno a costituire lo strato vegetale e il pannello di supporto del sistema parete. Tale studio, in linea con gli obiettivi dichiarati nel progetto, ha privilegiato componenti di involucro innovativi derivanti da materie prime secondarie, provenienti dal recupero di rifiuti speciali non pericolosi, oppure, da materie di origine vegetale o animale, come la viscosa ottenuta dal cotone e la lana di pecora.

Per ciascuno dei prodotti esaminati si è proceduto all'elaborazione di schede che forniscono un quadro sinottico delle principali caratteristiche fisiche, meccaniche ed energetico-ambientali dei prodotti stessi. Le schede sono state elaborate con l'obiettivo di fornire il più elevato numero di informazioni sul prodotto, ricavandole da monitoraggi ambientali condotti dall'unità di ricerca o tramite elaborazioni basate su banche-dati e strumenti software (Figura 2).

I contenuti della direttiva 2009/125/CE sono richiamati all'interno di un'altra importante direttiva, la 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia che stabilisce che gli stati membri si avvalgano di strumenti armonizzati e in particolare di metodi di prova e di calcolo definiti nel quadro

delle misure di attuazione della direttiva 2009/125/CE. La definizione di una metodologia coerente ai requisiti della direttiva 2010/31/UE è oggetto di uno studio dal titolo: *NETZEB. Towards Net Zero Energy Solar Buildings*, condotto dall'International Energy Agency nell'ambito del SHC Task 40 and ECBCS Annex 52⁶. Una parte del lavoro è dedicata ad approfondire quali sono le voci da considerare in un bilancio energetico di un edificio e, soprattutto, quali sono le voci attraverso le quali valutare se un edificio può essere classificato come edificio a "energia zero". La maggioranza degli approcci metodologici oggetto di indagine, da parte dell'IEA, stabilisce che nella determinazione del fabbisogno di energia primaria di un edificio sia considerato anche il contributo dei materiali per i quali è necessario calcolare l'Embodied Energy (EE)⁷.

3. L'Embodied Energy di un edificio: aspetti metodologici

Con il termine Embodied Energy si considera convenzionalmente l'energia primaria necessaria alla produzione, al trasporto e alla dismissione di un prodotto. Se da un punto di vista teorico tale definizione non comporta problemi di carattere interpretativo, da un punto di vista operativo la determinazione del fabbisogno energetico connesso al ciclo di vita di un materiale o di un componente edilizio presenta alcune criticità. La più importante riguarda la disponibilità di dati. Non esiste, infatti, una norma tecnica in grado di fornire dati sull'EE dei materiali da costruzione al pari di quanto avviene con i dati di permeabilità al vapore o di conducibilità.

Un secondo aspetto di non facile quantificazione riguarda i consumi di risorse energetiche connessi ai processi di trasporto. Non si può trascurare che a parità di prodotto è possibile che vi siano sensibili differenze in termini di EE se il sistema di fabbricazione è ubicato in Italia oppure in Cina.

Anche la determinazione dell'energia necessaria alla fase di produzione in opera e a quella di dismissione è difficile da specificare, poiché a ogni tecnica di costruzione (a secco o attraverso leganti umidi) e di dismissione (scarica per rifiuti speciali, riciclaggio come materia prima secondaria ecc.) è possibile imputare un consumo energetico. Un prodotto ha, nella maggior parte dei casi, la possibilità di essere posato in opera o smaltito secondo più tecniche tra quelle segnalate, pertanto sarebbe opportuno associare allo stesso diversi valori di EE in funzione degli scenari che gli sono teoricamente attribuibili.

Infine, poiché il calcolo del fabbisogno di energia primaria si accompagna alla richiesta di concessione o di licenza edilizia in fase di progettazione preliminare, anche un bilancio energetico che include l'EE deve essere possibile nella medesima fase, comportando la necessità di riferire i dati a prodotti "generici"⁸ e non a prodotti specifici, come quelli dotati di certificazioni o Dichiarazioni

Ambientali di Prodotto, in particolare l'EPD⁹. La previsione di utilizzo di prodotti certificati è, di fatto, solo ammissibile in fase di progettazione esecutiva.

Le difficoltà evidenziate hanno costituito per molto tempo un ostacolo che ha impedito l'introduzione di requisiti quantitativi nei sistemi di valutazione dell'eco-compatibilità a scala di edificio e di prodotto. In realtà, la maggior parte delle esperienze condotte, per effetto delle esigenze espresse dalle direttive descritte in precedenza, può essere implementata efficacemente, rendendo la valutazione dell'EE possibile, anche in tempi relativamente brevi, sebbene vi sia la necessità di ricorrere a correzioni procedurali.

In parte è necessario procedere ad alcune semplificazioni riguardanti le citate fasi di costruzione e di dismissione. Alcuni studi hanno messo in evidenza che l'impatto energetico di un prodotto in fase di posa in opera richiede poco meno del 2% dell'energia necessaria alla sua produzione¹⁰. Analoghi risultati sono stati raggiunti nell'ambito di ricerche finalizzate a valutare l'impatto della fase di demolizione di un edificio¹¹. Si può pertanto stabilire che sono categorie di impatto trascurabili ai fini della caratterizzazione energetica di un prodotto, almeno in fase di progettazione preliminare.

Per quanto concerne, invece, gli strumenti disponibili, in assenza, almeno per il momento, di norme tecniche vi sono banche-dati sviluppate da centri e organismi di ricerca attraverso le quali è possibile determinare l'EE relativa alla fase di produzione fuori opera di un materiale e/o di un componente edilizio. Alcuni di questi strumenti prevedono algoritmi in grado di valutare l'impatto della fase di trasporto. Infine, vi è da precisare che le informazioni contenute nelle banche-dati si riferiscono prevalentemente a materiali e componenti edilizi realizzati mediante processi di produzione "tipo". Si tratta altresì di informazioni particolarmente adatte a essere utilizzate in fase di progettazione preliminare.

Il Centro Interuniversitario di Valutazione della Qualità Ambientale del Costruito del Politecnico di Torino ha raccolto e pubblicato¹² 65 schede utili a caratterizzare in chiave ecocompatibile i prodotti da costruzione. In particolare, è stato definito un indicatore di prestazione energetica che suddivide il valore di EE (la denominazione adottata è Contenuto di Energia Primaria – CEP) a seconda dell'origine della risorsa energetica (CEP da fonti rinnovabili e CEP da risorse di origine fossile).

4. La valutazione dell'Embodied Energy in fase di progettazione

In conformità agli aspetti metodologici esposti e agli strumenti disponibili è possibile determinare il bilancio energetico ambientale di un edificio secondo un approccio coerente a quello previsto dalla direttiva 2010/31/UE

e alle ricerche condotte dall'International Energy Agency. In questa sede è opportuno richiamare uno studio riguardante un edificio bifamiliare, in corso di progettazione in Provincia di Torino (zona climatica E), avente una superficie utile di pavimento di 200 m². L'obiettivo del lavoro è duplice:

1. Sperimentare una metodologia di valutazione che annoveri l'EE dei materiali e dei componenti nel computo complessivo dei fabbisogni energetici dell'edificio;
2. Comparare diversi elementi tecnici, per capire come cambi il valore dell'EE al variare dei materiali e dei componenti che costituiscono gli elementi stessi.

La valutazione dell'EE ha riguardato le seguenti classi di unità tecnologiche: strutture; partizioni interne; chiusure. Non sono stati, invece, considerati gli elementi impiantistici.

Per ciascun elemento tecnico, tra quelli appartenenti alle classi appena richiamate, sono state individuate due o più soluzioni tecnologiche partendo da un "benchmark" rappresentativo di un sistema costruttivo tradizionale. Aver individuato un benchmark è stato importante, poiché ha consentito di valutare se un elemento tecnico alternativo allo stesso benchmark, e caratterizzato da materiali e componenti innovativi, comporta un aumento o una diminuzione dell'EE.

Lo studio delle pareti perimetrali verticali ha previsto il confronto tra due elementi. Il primo – il benchmark – è costituito da:

- doppio strato di intonaco a base cementizia (lato interno e lato esterno dell'elemento);
- laterizio forato (spessore 8 cm);
- isolante in polistirene espanso sinterizzato (spessore 10 cm);
- laterizio semipieno (spessore 12 cm).

Il secondo, invece, è realizzato come segue:

- lastra in cartongesso intonacata e verniciata (lato interno dell'elemento) a cui è abbinata una barriera al vapore;
- isolante in fibra di cellulosa compreso tra un doppio assito in legno di abete (spessore totale 21 cm) a cui è applicata un guaina impermeabile;
- parete ventilata in legno di larice fissata a montanti in legno di abete (spessore 16 cm).

La banca-dati utilizzata ai fini del calcolo è stata quella sviluppata dal Centro Interuniversitario di Valutazione della Qualità Ambientale del Costruito. Le informazioni elaborate sono state sintetizzate in protocolli di valutazione attraverso i quali è stato possibile calcolare sia l'EE dei singoli materiali e componenti sia l'EE dell'elemento tecnico. La comparazione tra due elementi di involucro (Tabelle 1 e 2) ha messo in evidenza i seguenti aspetti.

A&RT

I materiali cui è attribuibile il più alto valore di EE, nel caso dell'elemento benchmark, sono gli intonaci, mentre, nel caso della parete ventilata i materiali a base lignea sono quelli cui è attribuibile l'EE più elevata.

Per quanto concerne il confronto in valore assoluto di EE (CEP totale) si evince che la parete ventilata, sebbene prevalentemente realizzata con materie prime di origine naturale, richiede il 35% in più di risorse energetiche rispetto alla parete benchmark.

Infine, è emerso che la quota di EE derivante da risorse energetiche rinnovabili della parete ventilata costituisce più della metà dell'EE totale. Tale dato è confermato dal calcolo dell'Indice di Rinnovabilità (IR) dell'elemento tecnico che nel caso del benchmark è di circa il 2%, mentre nel caso della parete ventilata in legno supera il 54%. L'introduzione dell'Indice di Rinnovabilità è stato particolarmente importante, poiché la sola somma algebrica dei valori di EE dei materiali e dei componenti edilizi non è sufficiente a esprimere se l'elemento tecnico sia classificabile come ecocompatibile. L'ecocompatibilità della fase di produzione fuori opera si deve esprimere attraverso un sistema pesato che valuti in forma sinergica i fabbisogni energetici e la tipologia di risorsa impiegata.

La successiva valutazione estesa alle classi di unità tecnologiche ha consentito di determinare l'EE dei materiali e dei componenti per l'intero edificio, normalizzandola rispetto alla superficie utile di pavimento, in funzione di due scenari di durata o, secondo il termine anglosassone, due tipologie di *expected life* (Tabella 3). I dati riportati in tabella 3 si riferiscono all'edificio realizzato con la parete ventilata in legno.

L'edificio in legno richiede un Fabbisogno di Energia Primaria (FEP) di 29 kWh/m²anno, ponendo l'immobile in classe A (classificazione determinata in conformità al sistema previsto dalla Legge 13 della Regione Piemonte). Nel caso in cui l'edificio abbia una durata stimata di 25 anni il fabbisogno energetico necessario per produrre fuori opera i materiali e i componenti è superiore di oltre 4 volte quello necessario alla climatizzazione. Qualora,

invece, il ciclo di vita dell'edificio sia pari a 60 anni, l'EE corrisponde a circa il 59% dell'energia totale (CEP+FEP), senza tenere in considerazione eventuali cicli di sostituzione dei materiali che hanno durate inferiori al ciclo di vita complessivo dell'immobile.

I risultati ottenuti mostrano che il contenuto energetico imputabile alla fase di produzione fuori opera supera in modo sensibile il fabbisogno di energia necessario alla climatizzazione dell'edificio. Si tratta di un dato che richiede ulteriori approfondimenti, estendendo le modalità di calcolo ad altre tipologie di immobili e ad altre destinazioni d'uso, allo stesso tempo, però, stabilisce che l'EE è un indicatore di una certa importanza nell'ambito del bilancio energetico complessivo dell'edificio.

5. Prospettive di applicazione dell'Embodied Energy

Le analisi dei contenuti normativi e dei criteri metodologici relativi alla determinazione dell'EE dei materiali e dei componenti edilizi, nonché i risultati raggiunti nell'ambito di progetti e casi studio consentono di pervenire ad alcune importanti considerazioni conclusive.

Vi è innanzi tutto da evidenziare che la determinazione dell'EE dei materiali e dei componenti che costituiscono alcune classi di unità tecnologiche, pur con alcune semplificazioni, è effettuabile. È, dunque, ammissibile venga annoverata come indicatore utile a valutare le prestazioni energetiche dell'edificio e, in particolare, degli elementi di involucro che lo costituiscono.

Nella valutazione dell'EE di un edificio è necessario disaggregare i dati relativi al fabbisogno di energia primaria in modo da valutare quale sia il contributo imputabile alle risorse energetiche di origine fossile rispetto a quello derivante da fonti rinnovabili. Tale considerazione indica una direzione che l'attività di ricerca dovrà intraprendere nell'immediato futuro: sviluppare e introdurre un sistema di classificazione dell'efficienza energetica della fase di produzione fuori opera, in grado porre in relazione l'EE dell'edificio all'Indice di Rinnovabilità dei materiali e dei componenti.

Note

- ¹ E. Allen, *How buildings work. The Natural Order of Architecture*, Oxford University Press, Oxford 2005³.
- ² Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.
- ³ ENEA, *Rapporto Energia e Ambiente 2007 – 2008. Rapporto tecnico*, 2009.
- ⁴ R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei prodotti nel processo edilizio*, Sistemieditoriali Esselibri, Napoli 2010, p. 109.
- ⁵ TEP è l'acronimo di Tonnellate Equivalenti di Petrolio. È una delle unità di misura con la quale è possibile esprimere il fabbisogno di energia primaria.
- ⁶ Per ulteriori informazioni si consulti il sito: www.iea-shc.org/task40/index.html.
- ⁷ K. Voss, I. Sartori, E. Musall, A. Napolitano, S. Geier, M. Hall, B. Karlsson, P. Heiselberg, J. Widen, J.A. Candanedo, P. Torcellini, *Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings*, in *Proceedings of EuroSun 2010*, Graz 2010.
- ⁸ Il termine generico è la traduzione dall'inglese *generic data*, ovvero, informazioni ricavate da sistemi di produzione standard desumibili da banche dati sviluppate a livello

internazionale o nazionale.

- ⁹ EPD è l'acronimo di Environmental Product Declaration.
- ¹⁰ R. Pollo, A. Rivotti, *Building sustainability evaluation in the building process: the construction phase*, in *Proceedings of Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building*, SB04 Warsaw, Warsaw 2004.
- ¹¹ R. Giordano, A. Gorrino, *Verso l'edificio riciclato. Uno studio sull'eco-compatibilità dei materiali per l'isolamento termoacustico ottenuti dalla raccolta differenziata*, in *Atti dei seminari Ecomondo. Europa del recupero: le ricerche, le tecnologie, gli strumenti e i casi studio per una cultura della responsabilità ambientale*, Rimini 5-8 novembre 2008, Maggioli, Rimini 2008.
- ¹² R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile*, cit., pp. 249-413.

Bibliografia

- Task 40/Annex 52 (2008), *Towards Net Zero Energy Solar Buildings*, IEA SHC Task 40 and ECBCS Annex 52
- R. Giordano, S. Tedesco, *Net Zero Energy Building: metodi e strumenti per l'analisi energetica nel processo edilizio*, in «Il Progetto Sostenibile» 27, dicembre 2010

Il futuro dei serramenti in alluminio

The future of aluminum frames

*Massimiliano Fadin, architetto, responsabile della comunicazione e settore sostenibilità in edilizia presso Fresia Alluminio spa.
massimiliano.fadin@fresialluminio.it*

MASSIMILIANO FADIN

Il settore edilizio, residenziale e terziario, è responsabile di circa il 40% dell'energia consumata in Italia. È inoltre il maggiore produttore di emissioni di CO₂, più dei trasporti e dell'industria. È risaputo come la bassa qualità dei serramenti esistenti sia una delle principali cause di fuga e spreco di preziosa energia termica per il riscaldamento degli ambienti. Oggi più che mai la sfida dell'edilizia è quella di costruire nuovi edifici sostenibili e di ottimizzare al massimo l'efficienza energetica di quelli già in essere, abbattendo così drasticamente i consumi e le emissioni. Le normative sul risparmio energetico a livello nazionale e regionale hanno accelerato il processo di ricerca e sviluppo, spingendo le aziende alla realizzazione di profili per serramenti in alluminio a taglio termico ad alta efficienza energetica sempre più performanti ed in grado di rispondere puntualmente alle richieste di legge. Si può affermare che il mondo del serramento ha effettuato passi da gigante in questi ultimi anni, sia per rispondere in modo conforme alle richieste normative provenienti dalle politiche di contenimento dei consumi energetici, che per uniformarsi agli altri componenti dell'edilizia nel processo di adeguamento alla Marcatura CE.

Ora la nuova sfida che il mercato richiede di affrontare in un'ottica di competitività, è duplice. Da un lato si deve garantire, con una corretta posa in opera, il miglioramento degli elementi di collegamento tra infisso e muratura, al fine di eliminare ponti termici e dispersioni. Dall'altro la sfida consiste nell'offrire al mercato, sempre più sensibile all'utilizzo di protocolli di sostenibilità negli edifici (LEED[®], ITACA, ESIT), serramenti ecosostenibili derivanti da materiale di riciclo in grado di abbattere i consumi energetici e di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera.

The construction industry, residential and commercial properties, is responsible for about 40% of energy consumed in Italy. It is also the largest producer of CO₂ emissions, more than transports and industry.

It is known that low quality of existing windows is one of the most important cause of leakage and wastage of precious thermal energy for space heating.

Today more than ever the challenge of building is to build sustainable new buildings and optimize to the maximum the energy efficiency of those already in place, thereby drastically reducing fuel consumption and emissions.

The regulations on energy saving at national and regional levels have accelerated the process of research and development, pushing companies to the creation of profiles for aluminum doors and windows with thermal energy-efficiency ever more efficient and able to respond promptly to law requests for law. It can be said that the world of the frame made great strides in recent years, both to respond in a strong manner with regulatory requirements from the policy of reducing energy consumption, which conform to the other building components in the process of adjustment to CE marking.

Now the new challenge that market requires to face in a perspective of competitiveness, is twofold. On the one hand, we must ensure, with proper installation, improvement of the fasteners between frame and masonry, in order to eliminate thermal bridges and dispersions.

The other, the challenge is to offer to the market, more and more sensitive to the use of protocols for sustainability in buildings (LEED[®], ITACA, ESIT), eco-friendly fixtures from recycled materials able to reduce energy consumption and CO₂ emissions in the atmosphere.

1. Marcatura CE

La marcatura CE è una patente indispensabile per i prodotti dell'intera Area Economica Europea (EEA). Essa copre tutti i requisiti tecnici legali trattati dalla specifica tecnica armonizzata pertinente, vigente in tutti gli Stati Membri dell'Unione Europea. La marcatura CE definisce un campo d'azione comune fornendo ai fabbricanti metodi di prova, procedimenti e criteri di valutazione condivisi da tutti gli stati europei.

La norma UNI EN 14351-1:2006+A1:2010 stabilisce quali e come devono essere valutate e misurate le caratteristiche e le prestazioni del prodotto ritenute fondamentali per rispondere ai requisiti della direttiva.

L'apposizione del marchio CE presuppone l'idoneità all'uso previsto dei prodotti da costruzione, ovvero tutti i prodotti che sono fabbricati per essere incorporati in maniera permanente in opere edili.

La Marcatura CE deve essere apposta da chi immette il prodotto sul mercato, assumendosene di conseguenza la responsabilità legale.

Si presumono idonei all'uso i prodotti che consentono alle opere in cui sono utilizzati, se adeguatamente progettate e costruite, di soddisfare i sei requisiti essenziali della direttiva europea ad essi applicabile (*Direttiva sui prodotti da costruzione* 89/106/CEE, nota anche come CPD). Pertanto un prodotto è considerato idoneo all'impiego previsto se soddisfa le caratteristiche essenziali descritte nella specifica norma di prodotto.

La marcatura CE è *obbligatoria* nel settore dei serramenti dal 1° febbraio 2010 e costituisce il sistema al quale tutti i Costruttori di serramenti, facciate continue, chiusure oscuranti, cancelli e porte industriali e da garage, evacuatori di fumo e calore, devono uniformarsi per poter vendere il propri prodotti nell'Unione Europea. La marcatura CE conferma che il prodotto finito è in grado di fornire prestazioni che soddisfano i requisiti regolamentati in relazione agli impieghi previsti.

La dichiarazione della conformità di un manufatto serramentistico ai requisiti della norma tecnica europea armonizzata di riferimento (norma di prodotto) deve essere dimostrata tramite:

- prove iniziali di tipo (ITT) che, a seconda dei requisiti, richiedono l'esecuzione di calcoli teorici su uno o più modelli campione rappresentativi della gamma di prodotti, in conformità ai requisiti della norma europea di prodotto di riferimento;
- controllo di Produzione di Fabbrica (FPC) sotto la responsabilità del Costruttore.

Spetta al Costruttore, o al suo rappresentante, con sede nella EEA la responsabilità di apporre la marcatura CE sul prodotto, su un'etichetta applicata al prodotto, sul suo imballaggio o sui documenti commerciali di accompagnamento.

La marcatura CE sostituisce tutte le eventuali marcature

nazionali obbligatorie ma non quelle volontarie purché queste non siano in contrasto e/o in sovrapposizione con il marchio CE. Nessun requisito aggiuntivo può essere imposto a livello di norme tecniche e/o disposizioni legislative cogenti nazionali e/o regionali in materia di edilizia. Eventuali normative nazionali, in contrasto con le norme europee o basate su norme nazionali, devono essere obbligatoriamente modificate.

L'etichetta deve riportare i dati del produttore e le caratteristiche prestazionali del prodotto, come da EN 14351-1, e quindi attestare che il prodotto finito risponde agli specifici requisiti e fornisce le prestazioni dichiarate, di cui il produttore (serramentista) si assume la responsabilità.

Nel serramento i valori obbligatori da riportare sono i seguenti:

- U_w : trasmittanza termica del serramento comprensiva del valore del nodo del profilo più il valore del vetro;
- Permeabilità all'Aria: Classe 1-4;
- Trasmissione luminosa: dichiarata dal produttore di vetri.

Vediamo nel dettaglio di approfondire la definizione di questi tre valori.

La trasmittanza termica, misurata in W/m^2K , è considerata la caratteristica energetica principale dei serramenti nel loro complesso. Rappresenta il flusso termico, in regime stazionario, rapportato alla superficie e alla differenza di temperatura, tra gli ambienti, su ciascun lato dell'elemento a cui si riferisce. Quindi minore è il suo valore, migliore è il livello di isolamento termico offerto dal componente serramento.

La trasmittanza termica U_w nel suo complesso può essere stimata mediante il calcolo (semplificato o numerico agli elementi finiti) oppure direttamente effettuando prove di laboratorio.

Fresia Alluminio ha acquistato insieme al Gruppo Alsistem un banco prova in grado di effettuare le prove di laboratorio in modo preciso e rapido.

La norma UNI EN ISO 10077-1 identifica, per il calcolo semplificato, la seguente formula:

$$U_w = \frac{(A_G \times U_G + A_F \times U_F + L_G \times \psi)}{(A_G \times U_F)}$$

dove:

- A_G area delle vetrazioni in m^2
- U_G trasmittanza termica dell'elemento vetrato in W/m^2K
- L_G perimetro della vetratura in metri
- Ψ_G (psi) trasmittanza termica lineare in W/mK
- U_F trasmittanza termica del telaio in W/m^2K
- A_F area del telaio

La formula può essere applicata a qualsiasi tipologia di serramento.

A&RT

Il valore risultante di trasmittanza termica U_w del serramento deve essere approssimato alla seconda cifra decimale.

Ricordiamo che la Regione Piemonte impone un valore di $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e di $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la trasmittanza termica delle chiusure trasparenti fronte strada dei locali ad uso non residenziale. Il valore di trasmittanza termica da rispettare per le detrazioni fiscali in la Zona climatica E è di $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre per la Zona climatica F il valore di trasmittanza da rispettare è $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Fresia Alluminio nel 2010 attraverso i suoi installatori di serramenti dislocati sul territorio piemontese e ligure ha prodotto 4.700 pratiche riferite a 22.000 serramenti installati in interventi di sostituzione.

La permeabilità all'aria dei serramenti si misura in classi da 1 a 4, dove la classe 4 è la migliore e corrisponde ad una pressione dell'aria di 600 Pascal (in laboratorio il vento si fa soffiare a 112 km/h e l'assenza di infiltrazioni è quasi totale). La riduzione delle infiltrazioni/exfiltrazioni è importantissima per ottenere un edificio energeticamente efficiente: un'ottima prestazione riduce le dispersioni termiche per ventilazione (e migliora il fonoisolamento) e riduce il rischio di condensazione dell'aria calda interna negli interstizi (evitando la generazione di muffe). La trasmittanza luminosa è il rapporto tra la radiazione visibile (luce) trasmessa da un mezzo trasparente (per esempio da una lastra di vetro) e la luce incidente sullo stesso. La trasmittanza luminosa è adimensionale o espressa in percentuale. La trasmittanza luminosa non è da confondersi con la trasmittanza solare (che include anche la radiazione ultravioletta e infrarossa) né con la trasmittanza solare globale g che include oltre alla radiazione direttamente trasmessa a bassa lunghezza d'onda anche quella ad elevata lunghezza d'onda.

Ritornando alla marcatura CE questa normativa ha introdotto per le "porte su vie di fuga" l'obbligo di marcatura CE, ma con livello di attestazione della conformità 1. Ricordiamo la definizione come da art. 2 nel Decreto Ministeriale 3 novembre 2004, che identifica per «via di emergenza (o via di esodo, o di uscita, o di fuga): percorso senza ostacoli al deflusso che consente alle persone che occupano un edificio o un locale di raggiungere un luogo sicuro». Da questo si deduce che le porte esterne pedonali, senza caratteristiche di resistenza al fuoco e tenuta ai fumi, che immettono su luoghi sicuri rappresentati dall'ambiente esterno all'edificio oppure da una scala esterna, sono soggette all'obbligo della marcatura CE ai sensi della norma di prodotto UNI EN 14351-1 dal 2 febbraio 2010. La norma di prodotto UNI EN 14351-1 ha attribuito a tali porte esterne pedonali poste su vie di fuga il livello di attestazione della conformità 1 (mentre ai serramenti non sulle vie di fuga compete il livello di attestazione 3). Il livello di attestazione 1 prevede maggiore severità per quanto concerne l'apposizione della marcatura CE rispetto a quanto previsto dal livello di attestazione 3 e, all'atto

pratico, implica che:

1. il Piano di controllo della Produzione di Fabbrica non sia sotto la mera responsabilità del costruttore, ma soggetto a sorveglianza continua. Prevede la verifica e l'approvazione da parte di un Ente terzo Notificato specificatamente per il compito di sorveglianza ed ispezione;
2. le prestazioni delle porte esterne pedonali sulle vie di fuga, in relazione a tutti i requisiti essenziali, debbano essere accertate (prove iniziali di tipo ITT) presso Enti Notificati;
3. il costruttore delle porte esterne pedonali sulle vie di fuga non possa redigere la Dichiarazione di Conformità sotto la propria responsabilità, ma è l'Ente Notificato a rilasciare tale documentazione, la quale prende il nome di Certificato di Conformità.

Infine è importante sottolineare che i maniglioni antipánico, così come altri dispositivi di apertura manuale privi di marcatura CE installati sulle porte dislocate lungo le vie di esodo delle opere soggette al rispetto del requisito essenziale di «Sicurezza in caso di incendio» devono essere improrogabilmente sostituiti entro il 12 Febbraio 2011. A stabilirlo è il decreto ministeriale del 3 novembre 2004 (pubblicato sulla GU n. 271 del 18-11-2004) firmato dall'allora Ministro dell'Interno Giuseppe Pisanu che all'articolo 5 dispone «I dispositivi non muniti di marcatura CE, già installati nelle attività [...], sono sostituiti a cura del titolare in caso di rottura del dispositivo o sostituzione della porta o modifiche dell'attività che comportino un'alterazione peggiorativa delle vie di esodo o entro sei anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto». Purtroppo questa indicazione normativa ancora oggi è ai più del tutto sconosciuta, ma in caso di controllo si rischiano gravi sanzioni.

2. Piano Casa

La legge regionale di modifica alla legge piemontese 14 luglio 2009 n. 20, *Snellimento delle procedure in materia di edilizia e urbanistica* si compone di 10 articoli che riguardano principalmente i primi 7 articoli della legge 20.

La presente legge per le villette uni-bifamiliari consente ampliamenti del 20% della volumetria esistente fino ad un massimo di 1200 m^3 .

Per le tipologie di cui sopra, nel caso di interventi di demolizione e ricostruzione in deroga, è ammesso un ampliamento del 25% della volumetria esistente a condizione che, fermo restando il rispetto delle disposizioni regionali in materia di rendimento energetico nell'edilizia, si utilizzino tecnologie di una qualità ambientale ed energetica degli edifici tale da raggiungere il valore 1,5 del sistema di valutazione denominato *Protocollo Itaca Sintetico 2009 Regione Piemonte* e relativi aggiornamenti. In alternativa è ammesso un ampliamento fino al 35% della volumetria esistente a condizione che, fermo restando il



Figure 1, 2. Complesso residenziale Villa Tea a Borgomanero (NO). Progetto arch. Giancarlo Primatesta, studio di architettura Primatesta, Armeno (NO).



A&RT

rispetto delle disposizioni regionali in materia di rendimento energetico nell'edilizia, per la realizzazione si utilizzano tecnologie di una qualità ambientale ed energetica degli edifici tale da raggiungere il valore 2,5 del *Protocollo Itaca Sintetico 2009 Regione Piemonte* e relativi aggiornamenti. In questo tipo di interventi, chiaramente, i serramenti ricoprono un ruolo importante, in quanto la chiusura di porticati, verande, abbaini nei sottotetti nonché stanze in più, prevede l'installazione di elementi finestrati ad alta efficienza energetica che rispettino i requisiti incentivanti della tabella 5, 2° livello incentivante, per i quali la Regione Piemonte impone per il Piano casa un valore di trasmittanza termica delle chiusure trasparenti di 1,7 W/m²K (di 2,0 W/m²K per la trasmittanza termica delle chiusure trasparenti fronte strada dei locali ad uso non residenziale).

Per quanto concerne invece gli interventi in deroga per l'edilizia artigianale, produttiva, direzionale e turistico ricettiva sono state inserite le seguenti importanti disposizioni. I fabbricati esistenti a destinazione artigianale, produttiva e direzionale, effettivamente utilizzati e legittimamente realizzati alla data di entrata in vigore della presente legge, per i quali sia esaurita la SUL o l'indice di densità fondiaria o il rapporto di copertura consentiti, possono essere sopralcati, in deroga alle previsioni quantitative degli strumenti urbanistici, vigenti o adottati, e ai regolamenti edilizi, per un aumento massimo del 30% della SUL esistente.

Per gli edifici di cui al comma 1 è altresì consentito realizzare interventi di ampliamento pari al 20% della SUL esistente, fino a un incremento massimo consentito di 2.000 m², in deroga alle previsioni quantitative degli strumenti urbanistici, vigenti o adottati, e ai regolamenti edilizi.

La ricostruzione può essere comprensiva degli ampliamenti di cui ai commi 1 e 2 solo in caso di demolizione totale è consentito il riposizionamento delle nuove superfici coperte all'interno dei medesimi lotti di proprietà.

Negli edifici a destinazione turistico-ricettiva, legittimamente realizzati o che hanno ottenuto il titolo abilitativo alla data di entrata in vigore della presente legge, è possibile realizzare ampliamenti nella misura del 20% della SUL esistente fino ad un incremento massimo di 1.500 m², in deroga alle previsioni quantitative degli strumenti urbanistici, vigenti o adottati, e ai regolamenti edilizi, anche tramite la demolizione e ricostruzione dell'edificio esistente.

Di seguito riportiamo i principali cambiamenti rispetto alla normativa precedente.

Il nuovo articolo 1 contiene due novità:

- la scadenza per l'esecuzione degli interventi edilizi è prorogata al 31 dicembre 2012;
- per l'esecuzione dei lavori sarà obbligatorio presentare il documento unico di regolarità contributiva (DURC).

All'articolo 2:

- il richiamo alle unità edilizie viene riferito alle unità immobiliari catastalmente autonome con destinazione d'uso residenziale, compresi gli edifici già rurali che

hanno perso il requisito della ruralità e sono stati dichiarati al catasto edilizio urbano.

L'articolo 3 adesso prevede:

- l'intervento di ampliamento delle unità edilizie in edifici uni e bifamiliari e la chiusura di loggiati e porticati, mediante la presentazione di un progetto unitario, anche in fabbricati con tipologia costruttiva a schiera;
- il soddisfacimento dei requisiti richiesti in tema di risparmio energetico nell'edilizia limitato alla sola porzione ampliata; che la parte ampliata potrà costituire una nuova unità abitativa autonoma; in tal caso dovrà essere soddisfatta la dotazione di parcheggi privati richiesta.

Per l'intervento di demolizione e ricostruzione di cui all'articolo 4:

- non è più richiesta la deliberazione consiliare di individuazione degli edifici residenziali su cui si intende intervenire;
- si potrà intervenire anche su fabbricati a destinazione "mista", purché quella residenziale sia prevalente; sono ammesse all'intervento anche le destinazioni turistico-ricettive o direzionali, purché la destinazione residenziale rimanga prevalente;
- la quota di standard urbanistici, se non reperibile, potrà essere monetizzata e dovrà essere reperita la dotazione standard di parcheggi pubblici e privati.

All'articolo 5:

- il rispetto delle norme in materia antisismica, di sicurezza, antincendio, igienico sanitaria, paesaggistica e sul rischio idrogeologico viene chiesto per ogni tipologia d'intervento edilizio ammesso e per tutte le destinazioni d'uso previste.

L'articolo 6:

- rimane sostanzialmente invariato, conservando per i comuni la facoltà di indicare i parametri qualitativi o quantitativi non derogabili.

Il nuovo articolo 7:

- consente di sopralcare e di ampliare i fabbricati a destinazione artigianale, produttiva, direzionale e turistico-ricettiva, prevedendo un limite non superabile; ammette anche l'intervento di demolizione e ricostruzione sempre per i fabbricati con destinazione artigianale, produttiva, direzionale e turistico-ricettiva se localizzati in zona propria; per gli edifici a destinazione turistico-ricettiva consente l'intervento di ampliamento, di demolizione e ricostruzione ed il relativo recupero del sottotetto esistente, nel rispetto dei requisiti richiesti. Inoltre prescrive che gli standard derivanti dalle operazioni ammesse, se non reperibili, devono essere monetizzati.

L'articolo 8:

- proroga al 31 dicembre 2010 la possibilità di utilizzare le norme in deroga della legge regionale n. 21/1998 per il recupero a fini abitativi di sottotetti.

L'articolo 9:

- prevede la facoltà per i comuni di escludere dal proprio territorio le nuove possibilità edilizie previste agli articoli

3, 4 e 7 entro sessanta giorni dalla loro entrata in vigore (ovvero entro le ore 24.00 del 18 maggio 2011); entro lo stesso termine i comuni possono adeguare alle nuove disposizioni quelle deliberazioni che avevano eventualmente adottato entro il 29 settembre 2009 ai sensi del 1° comma dell'articolo 6 della legge regionale n. 20/2009.

L'articolo 10:

- abroga l'articolo 13 della legge regionale n. 20/2009 che limitava il termine per l'applicazione della legge regionale n. 21/1998 al 31 dicembre 2008.

3. Case history: condominio in classe A

In occasione della manifestazione dell'Ordine degli Architetti P.P.C. della Provincia di Torino e della Fondazione OAT *Architetture Rivelate 2010*, che si è tenuta a Torino il 1° luglio 2010 presso Palazzo Carignano, è stato assegnato il premio *Contech Award 2010*, destinato ad un architetto piemontese e autore del miglior progetto di domotica realizzato con l'utilizzo dei componenti e dei sistemi a catalogo BTicino. Il premio *Contech Award 2010* del valore di 3.000 euro è stato attribuito all'architetto Giancarlo Primatesta, dello studio di architettura Primatesta di Armeno (NO), per il progetto Villa Tea. Complesso residenziale a Borgomanero (NO).

In questo edificio si sono volute inserire molte tecnologie finalizzate ad ottenere un risparmio energetico riducendo i costi di gestione sia nella fase invernale che nella fase estiva. L'edificio consta di 32 unità abitative su 5 piani fuori terra con un giardino condominiale con verde attrezzato e giochi d'acqua. Le murature esterne sono composte da blocchi tipo "gas beton" di spessore cm 30, e le pareti di tamponamento sono collegate alla struttura portante in calcestruzzo con idonei sistemi, anche in relazione alle caratteristiche di sismicità dell'intervento. Le murature tipo "gas beton" sono composte da calcestruzzo cellulare espanso, maturato in autoclave, ottenuto da una miscela di sabbia, cemento e calce. Le eccellenti prestazioni di isolamento termico in opera e il ridotto impatto ambientale che deriva dalla produzione del materiale lo rendono la risposta ottimale per l'attuazione delle politiche comunitarie in tema di energia e ambiente.

I serramenti realizzati da Pastore Serramenti con profili di Fresia Alluminio spa sono stati eseguiti con profilati estrusi in lega di alluminio verniciati con colorazione RAL, completi di vetrate basso emissive a norma con i decreti sul risparmio energetico in edilizia. I serramenti ad alta efficienza energetica in alluminio a taglio termico della serie Planet 62 e Planet Slide sono stati realizzati a battente, a due battenti, e scorrevoli (serramento terrazzi lato sud).

Sono stati scelti cassonetti coibentati in alluminio preverniciato ed avvolgibili per esterno, sempre in alluminio coibentato e preverniciato, con comando elettrico a

distanza, per ridurre uno dei principali punti deboli, nel quale solitamente si concentrano ponti termici e dispersioni. Impianti di riscaldamento e raffrescamento

Ogni appartamento è dotato di impianto di condizionamento (riscaldamento e raffrescamento) termoautonomo realizzato mediante pompa di calore terra-acqua. Si utilizza quindi energia geotermica prelevata dal terreno. A pochi metri di profondità dalla superficie terrestre il sottosuolo mantiene una temperatura quasi costante per tutto l'anno. Questo fenomeno consente di estrarre calore dal sottosuolo in inverno per riscaldare gli ambienti, garantendo un'elevata efficienza e dunque un notevole risparmio energetico. In estate il calore prelevato dagli ambienti nella fase di raffrescamento viene reimpresso nel terreno, compensando il prelievo invernale. Lo scambio di calore è stato realizzato mediante pompe di calore abbinate a sonde geotermiche. Le pompe di calore consentono infatti di riscaldare e raffrescare gli ambienti con un unico impianto, assicurando un alto grado di rendimento nell'arco dell'intera stagione e con un fabbisogno di energia elettrica contenuto rispetto alle prestazioni di un impianto tradizionale.

In abbinamento al sistema geotermico è prevista la realizzazione di un impianto di riscaldamento e raffrescamento radiante con l'utilizzo di pannello sottopavimento. Tale soluzione consente un notevole comfort climatico grazie alle basse temperature di esercizio e alla distribuzione omogenea del calore.

A garanzia della salubrità degli ambienti si è realizzato un impianto di ventilazione continua degli ambienti con il reintegro di aria fresca e l'espulsione di aria viziata.

Il calore presente nell'aria viziata espulsa viene prelevato da un apposito scambiatore aria-aria e ceduto all'aria fresca di rinnovo riducendo al minimo i consumi. L'impianto di ventilazione è abbinato alla pompa di calore geotermica, migliorando così ulteriormente le prestazioni energetiche del sistema.

Per consentire piena autonomia di gestione ad ogni singolo alloggio è stato scelto di realizzare impianti di riscaldamento e raffrescamento autonomi.

Ogni alloggio è dotato di una propria pompa di calore dimensionata per il fabbisogno termico invernale ed estivo e per la produzione di acqua calda per usi igienici sanitari. Per i piani cottura delle cucine sono state previste piastre ad induzione.

Ogni appartamento, oltre alle ordinarie dotazioni impiantistiche elettriche, è dotato di un impianto di domotica altamente integrato in grado di realizzare numerose funzionalità e, tramite la sua flessibilità, di sviluppare ulteriori potenzialità, nonché di adeguare le funzioni previste alle reali esigenze del cliente.

Nel dettaglio sono controllati e regolati l'illuminazione, il riscaldamento/raffrescamento, gli avvolgibili e l'antifurto.

A&RT

Conclusioni

In conclusione si può affermare che il mondo del serramento ha effettuato passi da giganti in questi anni, sia per rispondere in modo conforme alle richieste normative provenienti dalle politiche di contenimento dei consumi energetici, sia per uniformarsi agli altri componenti dell'edilizia nel processo di adeguamento alla Marcatura CE. Ora la nuova sfida che il mercato richiede di affrontare in un'ottica di competitività è duplice.

Da un lato i serramentisti devono garantire delle prestazioni sempre maggiori dai propri prodotti. La riuscita del serramento però, dipende anche dal sistema costruttivo che caratterizza tutto l'edificio, nella sua complessità. Per conoscerne il reale comportamento, è opportuno tenere presenti anche altri aspetti costruttivi: gli elementi di collegamento tra infisso e muratura e i materiali con cui verrà realizzato, causa di ulteriore discontinuità geometrica e materica nel nodo e infine, gli accorgimenti necessari al momento della posa in opera; aspetti difficili da controllare in maniera globale e sistematica, ma fondamentali per ottenere i risultati attesi.

La cura di questi aspetti non è ancora diventata, purtroppo, una prassi quotidiana, e solo nei casi di edifici passivi o in classi A viene tenuta in considerazione. Quindi un punto fondamentale di sviluppo futuro è la verifica delle

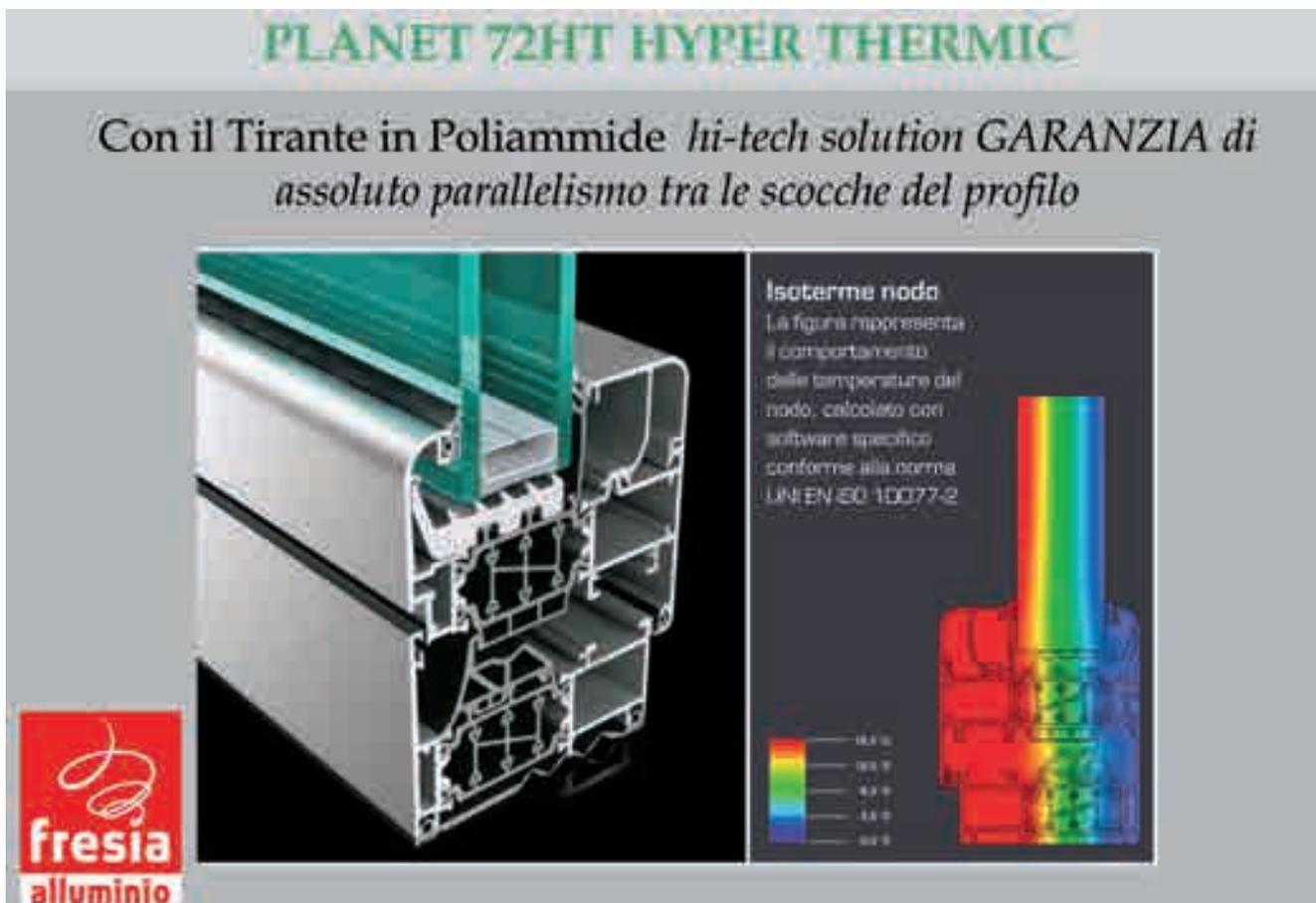
prestazioni in opera.

Sull'etichetta CE che accompagna la fornitura di infissi, sono presenti le prestazioni tecniche, di grande importanza in un involucro edilizio. Con tale dichiarazione il serramentista si impegna a garantire le stesse prestazioni sul prodotto posato. Le apparecchiature per il monitoraggio delle prestazioni degli edifici a basso consumo energetico utilizzate in cantiere, consentono oggi di capire il livello di prestazione di un infisso posato.

Sono tecniche note e rodute, che danno risultati oggettivi, in grado di dimostrare le responsabilità, anche in assenza di una specifica norma sulla posa in opera. La termografia insieme al Blower Door test, per la verifica delle dispersioni in opera e la localizzazione ed il controllo dei ricambi d'aria da spifferi consente di accertare se la posa in opera di un serramento risponde alle prestazioni dichiarate o richieste con un capitolato molto dettagliato; la cosa più importante tuttavia, resta la possibilità di utilizzarle per perseguire l'ottimizzazione delle prestazioni dei serramenti, svolgendo attività di Ricerca e Sviluppo dei prodotti.

La seconda sfida è quella di offrire ad un mercato, sempre più sensibile all'utilizzo di protocolli di sostenibilità negli edifici (LEED[®], ITACA, ESIT), serramenti ecosostenibili derivanti da materiale di riciclo in grado di abbattere i consumi energetici e di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera.

Figura 3. Serramento ad alta efficienza energetica in alluminio a taglio termico Fresia Alluminio serie Planet 72.



Un caso di studio: edificio di legno con utilizzo di PCM: P.U.EL.L.

A case study: a wood building with PCM: P.U.EL.L.

CLAUDIO PERINO

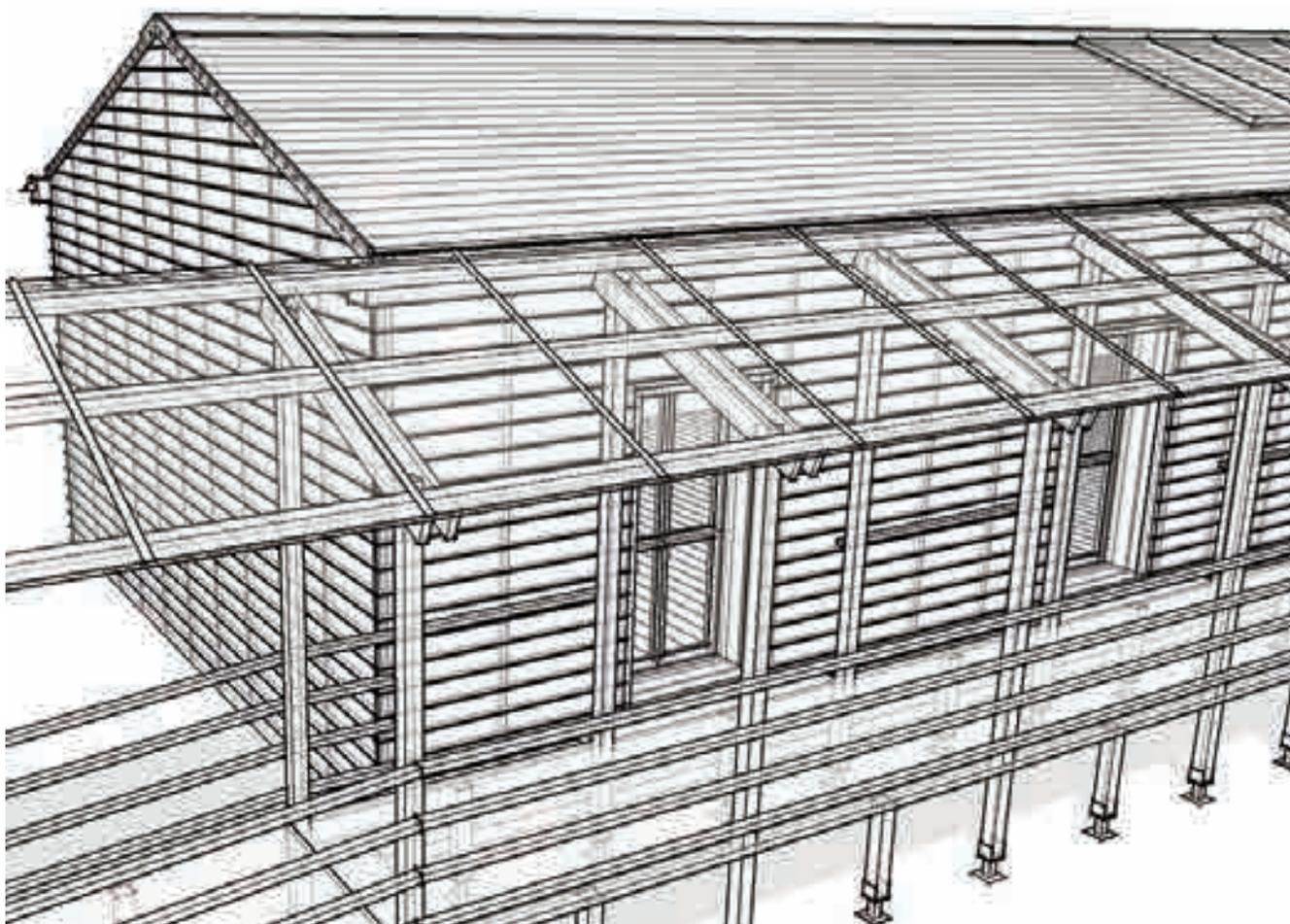
Un piccolo edificio innovativo non nella forma ma nella sostanza. Un restyling con un moderno involucro molto performante dal punto di vista delle capacità termiche di legno, lana minerale e fibra di legno, utilizzo mirato del PCM per il comfort ambientale interno.

Claudio Perino, architetto, Torpego architetti, Torino.

claudio.perino@torpego.it

A little building, innovative in the substance, not in the shape. A restyling with a modern coat envelope with high thermal capacity made in wood, mineral wool, wood fibre and a punctual use of PCM for internal environment control.

Figura 1. L'edificio realizzato: immagine in trasparenza.



A&RT



Figura 2. Lo stato di fatto.



Figura 3. Vista dall'ingresso.

Introduzione

Il P.U.E.L.L., *Prefabbricato per Uffici in Legno Locale per l'Istituto Piante da Legno ed Ambiente* della Regione Piemonte è il frutto della ristrutturazione, quasi ricostruzione, di un piccolo prefabbricato in legno degli anni '60-'70, sinora utilizzato come uffici e spogliatoi.

Di proprietà dell'I.P.L.A., Istituto Piante da Legno ed Ambiente della Regione Piemonte, è situato in una bella conca del parco del complesso dell'IPLA nel territorio del comune di Torino al confine del Comune di San

Mauro, sulle prime pendici del parco di Superga (Figura 2). Aveva pareti in pannelli prefabbricati in tavolette dello spessore totale di circa 10 cm, con 6-8 cm. di isolante in lana di roccia. La copertura era costituita da capriatelle leggere e copertura in lamiera grecata; aveva una coibentazione leggera posata sul controsoffitto (Figure 3, 4, 5). Non sono state fatte operazioni di restyling; abbiamo però sostituito la struttura primaria poiché non era praticabile un suo mantenimento dal punto di vista normativo e strutturale, ed abbiamo sostituito l'intero involucro con



Figura 4. Pianta dello stato di fatto.

Figura 5. Pianta di progetto.



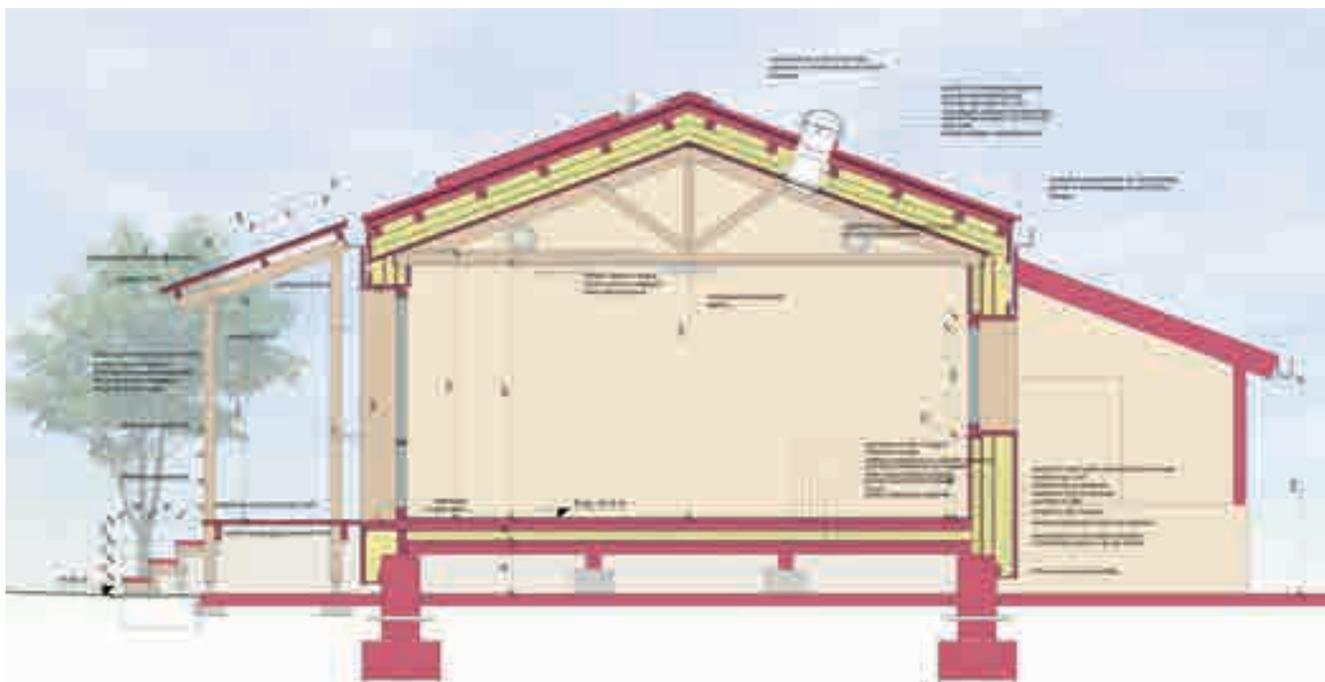


Figura 6. Sezione di progetto.

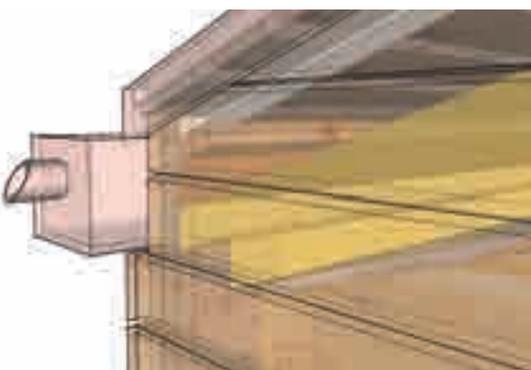
un pacchetto maggiormente performante dal punto di vista del contenimento energetico (Figure 6, 7).

In merito al trattamento del volume architettonico, abbiamo eliminato gli sporti del tetto ed abbiamo aggiunto un portico di accesso con copertura in lastre di cristallo con celle fotovoltaiche. Tale portico, che ha anche la funzione di proteggere il fianco sud-ovest dai raggi solari del pomeriggio si prolunga in avanti per accorciare il percorso allo scoperto per raggiungere l'edificio (Figure 8, 9).

Figura 7. Sezione dello stato di fatto.



Figura 8. Dettaglio della gronda.



La scelta architettonica non è stata di lavorare sulla forma dell'edificio ma sulla sua sostanza: involucro ed impianti tecnologici. Questo edificio dovrebbe produrre più energia di quella di cui esso ha bisogno per funzionare.

Sarà destinato dall'IPLA ad uffici di ricerca; fa parte di un programma della Regione Piemonte per incentivare la costruzione di edifici in legno ed in particolare la produzione legnosa locale.

In capitolato avevamo previsto che la costruzione in

Figura 9. Il portico fotovoltaico di ingresso.



A&RT

legno dovesse essere costituita in larice e castagno di produzione locale. Ci siamo riusciti solo in parte: il cappotto di listelli e tavole di rivestimento è in larice della Valsusa. Il castagno invece, che doveva costituire il materiale per la struttura del porticato, per problemi di costi e di tempi di fornitura ha dovuto essere sostituito dal rovere francese. L'edificio, del quale è in corso la verifica delle prestazioni, nel suo complesso involucro-impianti è stato progettato e realizzato per essere certificato come "casa passiva" secondo la definizione adottata presso l'Istituto Case

Passive di Darmstadt.

L'energia primaria necessaria per soddisfare la richiesta di calore e di raffrescamento è prodotta da collettori solari termici integrati in copertura e da recuperatori di calore ad alta efficienza interposti nell'impianto di ventilazione. L'impianto di ventilazione, collegato con i recuperatori è gestito da motori elettrici a regolazione elettronica alimentati dall'energia prodotta dall'impianto solare fotovoltaico di 80 m² che costituisce la copertura del portico di ingresso (Figure 10, 11, 12).



Figura 10. Le serpentine sottopavimento.



Figura 11. L'impianto di ventilazione.

Figura 12. I collettori solari termici e fotovoltaici.



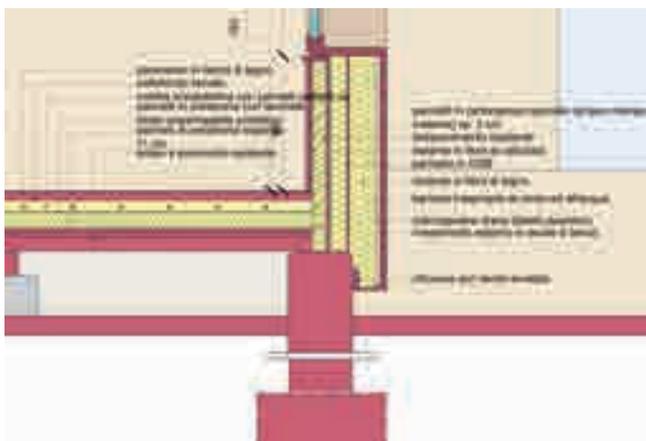


Figura 13. L'attacco a terra: il basamento della parete.

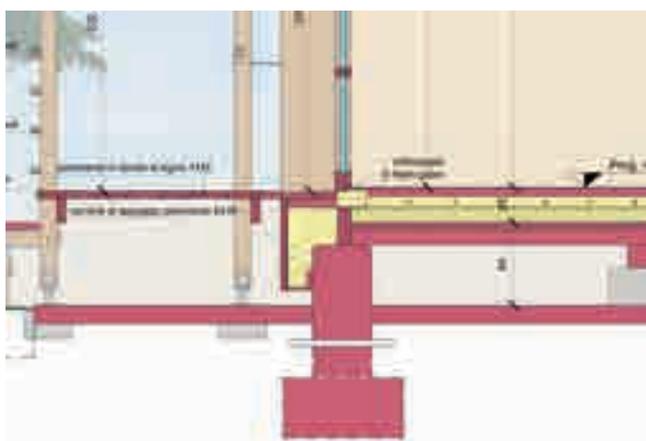


Figura 14. L'attacco a terra: uso di foam glass sottosoglia.

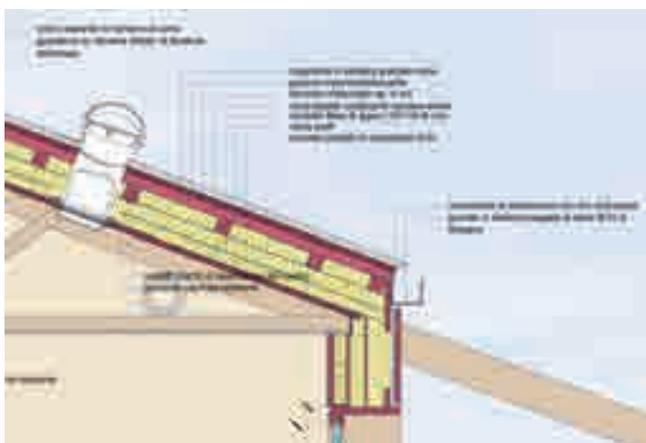


Figura 15. Sezione del raccordo tra tetto e parete.



Figura 16. L'installazione dello strato di PCM.

1. Involucro

L'involucro con elevate caratteristiche di isolamento è completamente montato a secco ed ha la seguente stratificazione, elencata dall'interno all'esterno (Figure 13, 14, 15):

1. basamento esistente, già dotato di un sottofondo in cls alleggerito con argilla espansa di 10 cm;
2. telai modulari con capriate, una ogni 133 cm (modulari sulle tavole di 4 m in abete non trattato);
3. isolante a pavimento, pannelli in polistirene con grafite, spessore 12 cm;
4. soletta impiantistica in polistirene stampato + serpentine a pavimento;
5. sottofondo lisciato di schiuma di cemento;
6. rivestimento interno pareti verticali, doppia lastra in cartongesso, spessore 13+13 mm;
7. PCM 6 mm "Energain" Dupont;
8. barriera per il controllo del vapore "Air Gard" Dupont;
9. profili da cartongesso per costituzione camera d'aria, spessore 4 cm;
10. isolante in lana di roccia, spessore 14 cm (in origine era prevista fibra di cellulosa);
11. OSB pannelli wafer-board strutturale (fenolico) di controventamento longitudinale successivamente poi completamente nastrato nelle giunzioni con prodotti specifici Riwega;
12. isolante in fibra di legno spessore 12 cm;
13. guaina traspirante impermeabile e resistente agli UV "UV facade" Dupont;
14. listelli ripartitori in larice 4x6 cm per costituzione di intercapedine di ventilazione esterna e fissaggio del rivestimento esterno, un listello ogni 61,5 cm;
15. tavolato di appoggio dell'isolamento della copertura, in tavole maschiate di larice, spessore 4 cm, a vista lato interno;
16. isolante tetto in fibra di legno;
17. isolante tetto 2 in fibra di legno (strati successivi per un totale di 28 cm);
18. orditura longitudinale tetto di ripartizione dei listelli;
19. orditura trasversale tetto-listelli ripartitori 4x6 cm in larice per costituzione intercapedine aerata;
20. di nuovo sulle pareti: rivestimento esterno in tavole in larice grezze di forma romboidale;
21. tavolato esterno del tetto in larice maschiato di appoggio del manto di copertura e strato antirombo;
22. gronde in lamiera di rame 6/10 a sezione rettangolare a disegno;
23. copertura in lamiera grecata in rame 6/10, colmo aerato, faldali di testata;
24. collettori solari termici, integrati nella copertura, 10 m²;
25. pavimento interno in gres;
26. imbotti di pino lamellare;
27. serramenti in legno da 105 mm con vetri a doppia

A&RT

- camera d'aria con argon, vetri antisfondamento
basso emissivi, alto valore di fattore solare;
28. portico in rovere massiccio;
 29. collettori solari fotovoltaici in pannello sandwich di cristallo posati legno-cristallo di copertura con funzioni brise-soleil.

2. PCM

Come è noto i PCM Phase Change Materials sono materiali in grado di assorbire calore quando ne abbiamo troppo ed in grado di restituirlo quando si abbassa la temperatura, sono cioè utili a smorzare i picchi di sovra temperatura e a aumentare i tempi di sfasamento degli involucri edilizi (Figura 16).

Generalmente sono paraffine che aumentano il confort ambientale assorbendo calore quando ricevono calore, liquefacendosi o "ammorbidendosi", restituiscono calore tornando allo stato solido.

Nel nostro caso lo strato PCM, prodotto da una nota ditta specializzata in materiali di isolamento ed impermeabilizzazione per involucri edilizi, guaine ecc. (nel nostro caso Energain della Dupont), è costituito da pannelli composti da un doppio strato di lamina di alluminio che confina uno strato di speciale paraffina. Lo abbiamo posizionato nella parte interna, appena sotto il doppio strato di cartongesso che funge da intonaco interno, per assorbire in estate i picchi di calore interno durante la giornata.

Come dato di progetto il PCM dovrebbe sfasare l'onda termica dalle 15.00 alle 21.00, quando si presume che l'ufficio sia verosimilmente meno utilizzato.

In termini di massa compensa la leggerezza della parete. Infatti nei dati tecnici della Ditta fornitrice questo pannello da 6 mm di spessore dovrebbe equivalere alla capacità di inerzia termica di una paretina di cls massiccio di 5 cm di spessore (Figure 17, 18, 19).



Figure 17, 18. L'interno.



Figura 19. Il fotovoltaico nella natura.



Involucri trasparenti e schermature solari ad alto contenuto tecnologico: l'approccio integrato al progetto

Advanced transparent envelopes and solar shadings: the integrated approach in building design

STEFANO CREMO, CARLO MICONO

Il racconto e la descrizione di tre edifici, due già ultimati ed uno di prossima costruzione, consente di valutare in concreto il ruolo e il funzionamento di sistemi di involucro innovativi ad alte prestazioni e l'approccio integrato adottati per far fronte ad elevate esigenze in termini di contenimento dei consumi energetici e di compatibilità ambientale. Ai Engineering S.r.l. da oltre trent'anni si occupa di progettazione ingegneristica nelle diverse specializzazioni, ed è Socio Ordinario di GBC Green Building Italia, facendone parte del Comitato Esecutivo.

The story and description of three buildings, two already completed and one under construction allows to assess specifically the role and operation of innovative and high-performance envelope systems, and the integrated approach adopted to cope with high demands in terms of energy consumption reduction and environmental compatibility. Ai Engineering S.r.l. for over thirty years deals with engineering design in various specializations, and is Ordinary Member of GBC Green Building Italia, being part of the Executive Committee.

Stefano Cremo, ingegnere, è responsabile del settore Impianti Tecnologici di Ai Engineering. Da oltre vent'anni si occupa della progettazione impiantistica di opere complesse e di grandi dimensioni.
scremo@aigroup.it

Carlo Micono, architetto, PhD, collabora con Ai Engineering nell'ambito della progettazione di involucri edilizi ad alte prestazioni e della valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici.
c.micono@libero.it

Negli ultimi vent'anni la progettazione e realizzazione di edifici ha visto, nell'esperienza progettuale di AI Engineering, un forte cambiamento volto a raggiungere una integrazione tra le competenze professionali sempre maggiore, finalizzate a realizzare edifici sempre più performanti dal punto di vista tecnologico ed energetico.

Questa tendenza è particolarmente evidente in edifici progettati da importanti "firme" del dibattito architettonico contemporaneo, quali Massimiliano e Doriana Fuksas, 5+1AA (Alfonso Femia, Gianluca Peluffo), Dominique Perrault, Odile Decq.

In questo articolo si focalizzerà l'attenzione sull'esperienza legata alla progettazione e realizzazione di sistemi di involucro ad alte prestazioni, a diverso grado di integrazione con gli impianti, attraverso il racconto di tre progetti, due di recente inaugurazione ed uno di prossima costruzione.

Il comune denominatore di ciascun progetto è la concezione, purtroppo non ancora consolidata nel mondo dell'edilizia diffusa, dell'edificio formato non da parti distinte, quali l'involucro, le strutture e gli impianti, ma come sistema unico, integrato, chiamato in letteratura "sistema edificio-impianto". Trattandosi di un'unica entità, quindi, è naturale che già dalla sua concezione i progettisti siano fortemente coesi e non affrontino i diversi temi in tempi diversi e in modo separato.

Tra le prime realizzazioni in cui si è concretizzato il nuovo approccio ci sono il "Ferrari Headquarters" a Maranello (MO), 2004, e il "Nardini Headquarters" a Bassano del Grappa (VR), 2004, entrambi progettati da

A&RT

Massimiliano e Doriana Fuksas.

Il “sistema edificio-impianto”, seppur caratterizzato da un involucro a pelle semplice, deve coniugare le esigenze della committenza, avere un forte risparmio energetico e comfort ambientale per gli utenti, e le esigenze progettuali, volte a garantire la massima trasparenza e la minima presenza in ambiente e visibilità dei sistemi tecnologici di impianto.

Tali obiettivi sono stati pienamente raggiunti grazie all'introduzione di una procedura di progettazione maggiormente integrata tra chi ha curato gli aspetti architettonici e quelli prettamente ingegneristici, già dalle prime fasi e per tutta la durata del cantiere, e attraverso l'impiego di nuovi e sofisticati strumenti di simulazione.

I tre edifici che saranno descritti di seguito vedono la presenza di sistemi di involucro a più strati, più complessi dal punto di vista della concezione, progettazione e simulazione.

1. Fiera Milano: involucro “multilayer”

La “Torre orizzontale”, progettata da 5+1AA e inaugurata nel 2010 a Rho, già dalle fasi di concorso è stata concepita come un edificio a basso consumo energetico, invernale per il raggiungimento della “Classe Energetica A”, e estivo per contenere i costi di gestione. Il team di progettazione ha lavorato in modo integrato per raggiungere gli obiettivi della committenza già dalle fasi di gara, dalla concezione dell'edificio al cantiere.

L'elevata efficienza energetica è stata ottenuta attraverso alcune scelte:

- la definizione di una forma architettonica che, compatibilmente con il programma funzionale e i vincoli insediativi e costruttivi, garantisca il massimo guadagno solare in inverno e le minori dispersioni termiche;
- un involucro edilizio ad alte prestazioni, differenziato dal punto di vista tecnologico e funzionale in accordo con l'esposizione;
- un sistema di schermature solari ottimizzate per il periodo estivo;
- un layout interno concepito per beneficiare al meglio dell'illuminazione naturale;
- un sistema impiantistico ad alta efficienza, che non impieghi combustibili fossili e consenta il minor dispendio energetico possibile.

L'involucro non è concepito come un sistema rigido e omogeneo, uguale in tutte le esposizioni, ma è configurato per rispondere in maniera efficace ed efficiente alle diverse sollecitazioni esterne, mettendo in relazione il contesto climatico e l'ambiente interno in coerenza con le attività che si svolgono nelle diverse parti.

Le tre macro-tipologie che costituiscono l'involucro sono tecnologicamente molto differenti, e si mostrano ognuna con una propria specificità con chiarezza e coerenza in

relazione all'esposizione solare.

Per i fronti esposti a sud-ovest e a sud-est, maggiormente sollecitati dall'azione solare, è stata ideata una facciata continua a cellule, con orditura a moduli verticali (1250 x 3700 mm) e vetrocamera selettivo in diverse tonalità di grigio. Le parti trasparenti sono protette da un sistema di brise-soleil in lame di vetro smaltato e temperato, colore Gold. Il ricamo “a scacchiera” della schermatura dorata è stato messo a punto con simulazioni che ne hanno riprodotto il comportamento nelle diverse condizioni di incidenza solare.

Ciascuna cellula vetrata integra la porzione di brise-soleil che la protegge ed il relativo tratto di passerella per la manutenzione, mediante speciali profilati estrusi in alluminio.

Le parti dell'edificio esposte ad est sono protette da una facciata continua a cellule con orditura a moduli orizzontali di grandi dimensioni (3115 x 925 mm) e vetrocamera. A poca distanza dal lato esterno dei serramenti è accoppiato un ulteriore pannello in vetro stratificato 6+6 temperato extrachiaro, con funzioni di schermatura solare: tra le due lastre è interposta una rete metallica dorata, a maglia finissima, che filtra i raggi solari incidenti, limitandone il passaggio nel periodo estivo, ma capace al contempo di garantire trasparenza e luminosità.

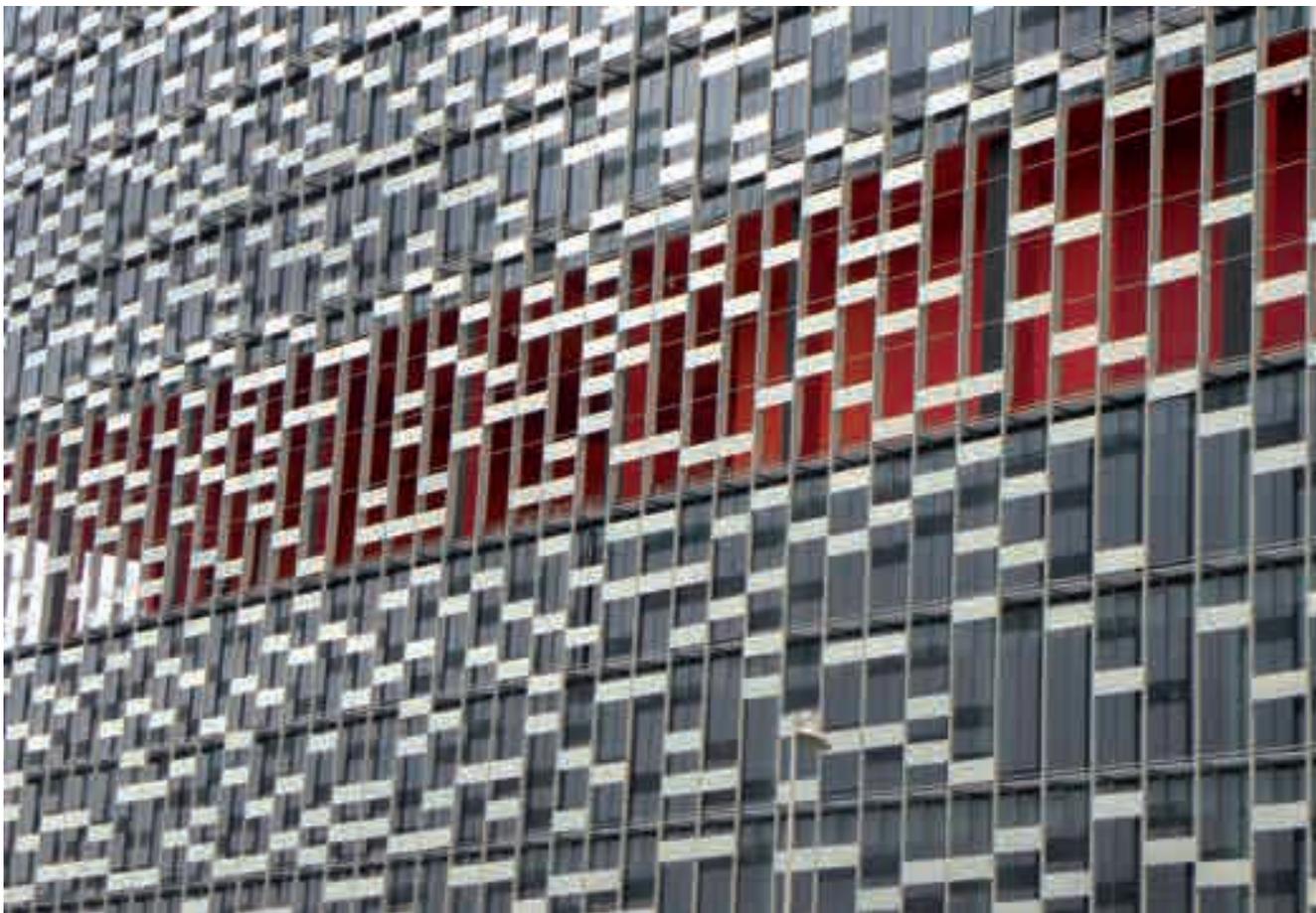
Le superfici dell'involucro meno esposte ai raggi solari (nord e nord-ovest) sono costituite da una facciata ventilata in bio-blocchi di argilla espansa abbinati ad una coibentazione ad elevato spessore, maggiore di 12 cm, rivestita esternamente con pannelli in fibrocemento di grandi dimensioni e trattati per ottenere una speciale colorazione lucente di tonalità dorata. La facciata ventilata è puntualmente interrotta da serramenti ad alte prestazioni isolanti, per dare luce e ventilazione naturale ai locali retrostanti e al grande atrio che unisce le due parti della torre orizzontale.

La trasmittanza termica è stata contenuta entro valori molto bassi, minore di 0,22 W/m²K nel caso delle parti opache, sensibilmente inferiori quanto previsto dalle normative energetiche regionali. Le caratteristiche delle lastre in vetro sono state determinate con l'intento di coniugare le scelte architettoniche con le esigenze energetiche e di comfort ambientale (termico ed illuminotecnico). I parametri prestazionali che caratterizzano i vetri sono la resa cromatica, maggiore di 90, la riflessione luminosa, minore del 20%, la trasmissione luminosa, maggiore del 30% e il fattore solare, compreso tra il 25% e il 29% per coniugare le esigenze contrapposte di avere un buon sfruttamento degli apporti solari nel periodo invernale funzionale al raggiungimento della “Classe A” e limitare il fabbisogno energetico per il condizionamento estivo.

Con una superficie complessiva di circa 15.000 m² (di cui 8.300 trasparenti), composte da più di 2.300 elementi tecnologici realizzati in stabilimento e assemblati a piè d'opera,



Figura 1. Fiera Milano, Rho (MI), vista di insieme delle diverse tipologie di facciata.
Figura 2. Fiera Milano, Rho (MI), particolare della facciata con schermature esterne.



A&RT

le facciate del nuovo centro direzionale hanno permesso di ottenere, a fronte di un costo medio molto contenuto, inferiore a 700 €/m², elevate prestazioni energetiche ed acustiche.

L'impiego di moduli a cellula, l'integrazione del sistema di brise-soleil e la realizzazione di un'estesa facciata ventilata a pannelli di grandi dimensioni, hanno contribuito a ridurre i tempi per la messa in opera dell'involucro concorrendo a contenere significativamente la durata complessiva del cantiere.

L'involucro è solo uno degli elementi messi a sistema per il raggiungimento delle alte prestazioni energetiche e ambientali poste come obiettivo.

L'edificio vive grazie ad un complesso sistema impiantistico ad alta efficienza che non necessita di combustibile fossile per la climatizzazione e utilizza fonti di energia rinnovabile (acqua di falda e fotovoltaico): garantisce il mantenimento delle condizioni di comfort a fronte di importanti riduzioni delle emissioni nocive in ambiente e dei costi di gestione.

I fluidi termofrigoriferi sono prodotti mediante tre pompe di calore di tipo polivalente, bilanciate energeticamente mediante l'acqua di falda, in grado di produrre contemporaneamente acqua calda e acqua refrigerata in ogni momento dell'anno, distribuita da un impianto a quattro tubi in grado di garantire il comfort termoigrometrico in ogni ambiente, indipendentemente dell'esposizione solare e dai carichi endogeni. È stato predisposto l'allacciamento alla rete del teleriscaldamento, come ulteriore risorsa di backup o riserva energetica.

L'impianto a pannelli radianti a soffitto, di tipo metallico o integrato al controsoffitto monolitico in cartongesso, garantisce le migliori condizioni di comfort termoigrometrico grazie allo scambio termico di tipo radiante e alla bassa movimentazione d'aria.

Unità di trattamento dell'aria e estrattori a portata variabile, dotati di recuperatori di calore statici a elevata efficienza permettono di graduare la portata d'aria a seconda della effettiva necessità e di recuperare il calore dall'aria estratta. Per ridurre il consumo di energia elettrica e garantire le migliori condizioni di comfort visivo per gli utenti sono previsti dimmer sui terminali illuminotecnici e sonde collegate al sistema di supervisione dell'edificio. Al variare della quantità di luce naturale proveniente dall'esterno, viene regolata automaticamente la quantità di luce artificiale negli ambienti, fino allo spegnimento in caso di assenza di persone: viene prolungata la vita utile degli apparecchi, riducendone sensibilmente il consumo.

In copertura è presente un campo fotovoltaico costituito da moduli orizzontali in silicio policristallino ad alta efficienza della potenza totale installata pari a 30 kWp.

Una rete duale permette di riutilizzare l'acqua piovana e l'acqua di falda per alimentare le cassette di risciacquo dei sanitari e per irrigare le aree verdi. Con l'impiego di

dispositivi per l'erogazione controllata si ottengono risparmi di acqua potabile fino al 60%.

La progettazione integrata, le scelte innovative e una forte integrazione delle diverse componenti tecnologiche hanno permesso di ottenere un fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale EpH pari 5.51 kWh/m³ anno: la Valutazione Energetica Preliminare colloca l'edificio in Classe Energetica A, con un consumo stimato inferiore di 2/3 rispetto ad un edificio di concezione tradizionale.

2. Blend Building: doppio involucro a ventilazione naturale

Blend Building nasce da un intervento di riqualificazione di un edificio esistente in piazza IV Novembre a Milano, su progetto di 5+1AA, inaugurata nel 2009.

L'involucro dell'edificio esistente presentava valori di trasmittanza termica molto alta, sia per le parti opache che per quelle trasparenti, con conseguenti alti valori di dispersione termica e fabbisogni energetici per il riscaldamento. I vetri non erano a controllo solare: la radiazione solare veniva modulata unicamente con sistemi schermanti interni, con conseguenti fabbisogni energetici per il condizionamento molto alti.

Gli impianti di riscaldamento e condizionamento presentavano valori di efficienza molto più bassa rispetto agli standard attuali e non rispettavano i correnti limiti di emissioni di inquinanti.

La riqualificazione energetica dell'edificio ha visto come strategie principali il contenimento dei fabbisogni energetici di riscaldamento e di condizionamento attraverso una nuova concezione dell'involucro, differenziato in accordo sia a esigenze compositive che funzionali.

Le due facciate vengono riviste in modo diversi: quella esposta a nord ovest vede il mantenimento dello schema di involucro esistente, che alterna parti opache a serramenti. Le parti opache vengono isolate mediante un cappotto esterno, sistema che, oltre a garantire la forte riduzione della trasmittanza termica e, quindi, delle perdite energetiche per trasmissione, consente la correzione dei ponti termici. I vecchi infissi vengono sostituiti con serramenti con telai a taglio termico e vetrocamera basso emissivi, in modo da contenere la trasmittanza termica.

La facciata esposta a sud est sul fronte di Piazza IV Novembre è concepita come una membrana a doppia pelle completamente trasparente a prestazioni dinamiche. Il funzionamento varia automaticamente o per decisione degli utenti a seconda delle condizioni al contorno e delle esigenze di risparmio energetico e di comfort termico e visivo. La facciata è suddivisa in due parti per questioni di sicurezza legate alle compartimentazioni antincendio in corrispondenza del 6°/7° piano, funzionalmente indipendenti.

La prima vede la presenza di un'unica intercapedine di altezza pari a sei piani, dal primo al sesto, non divisa da

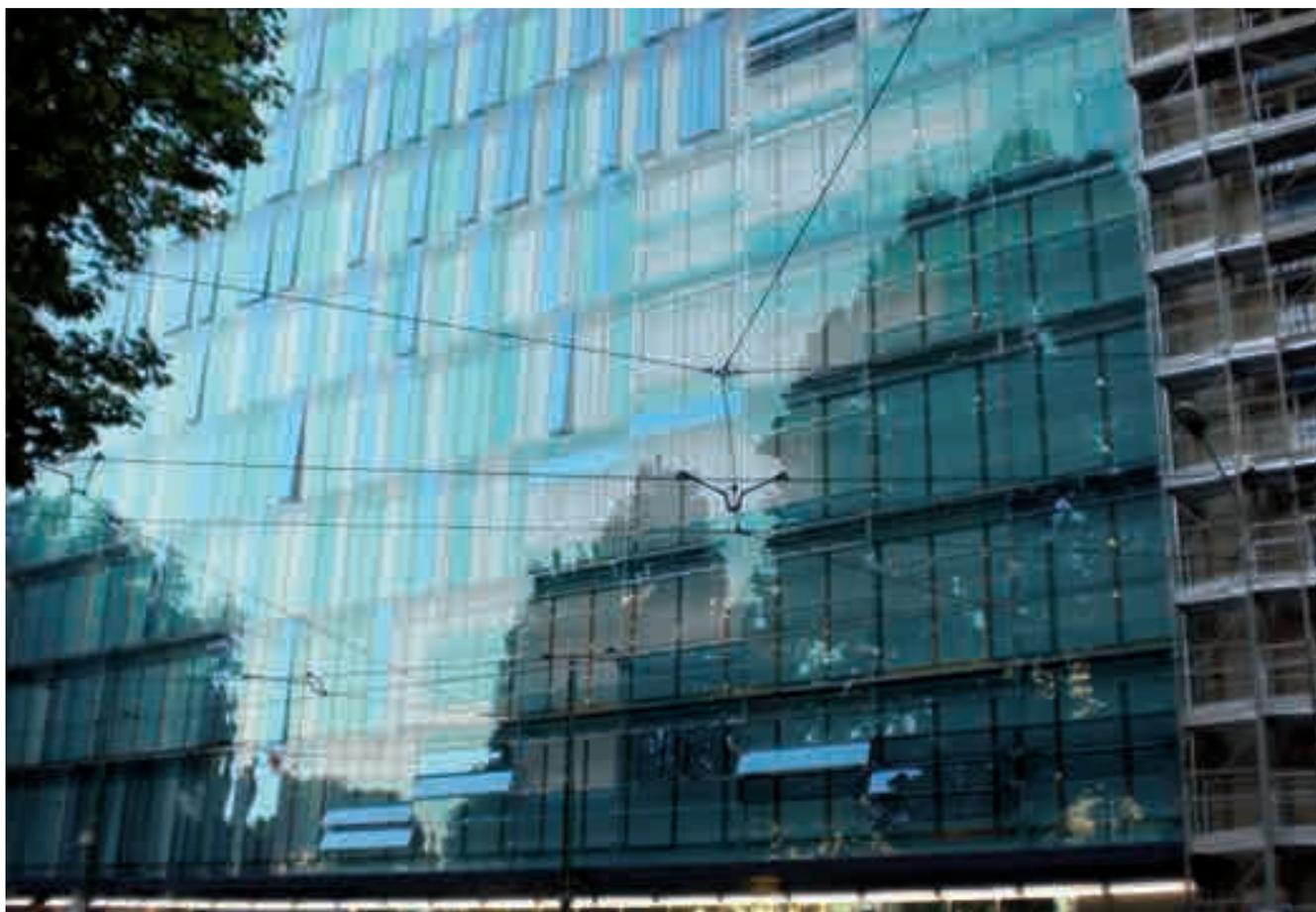
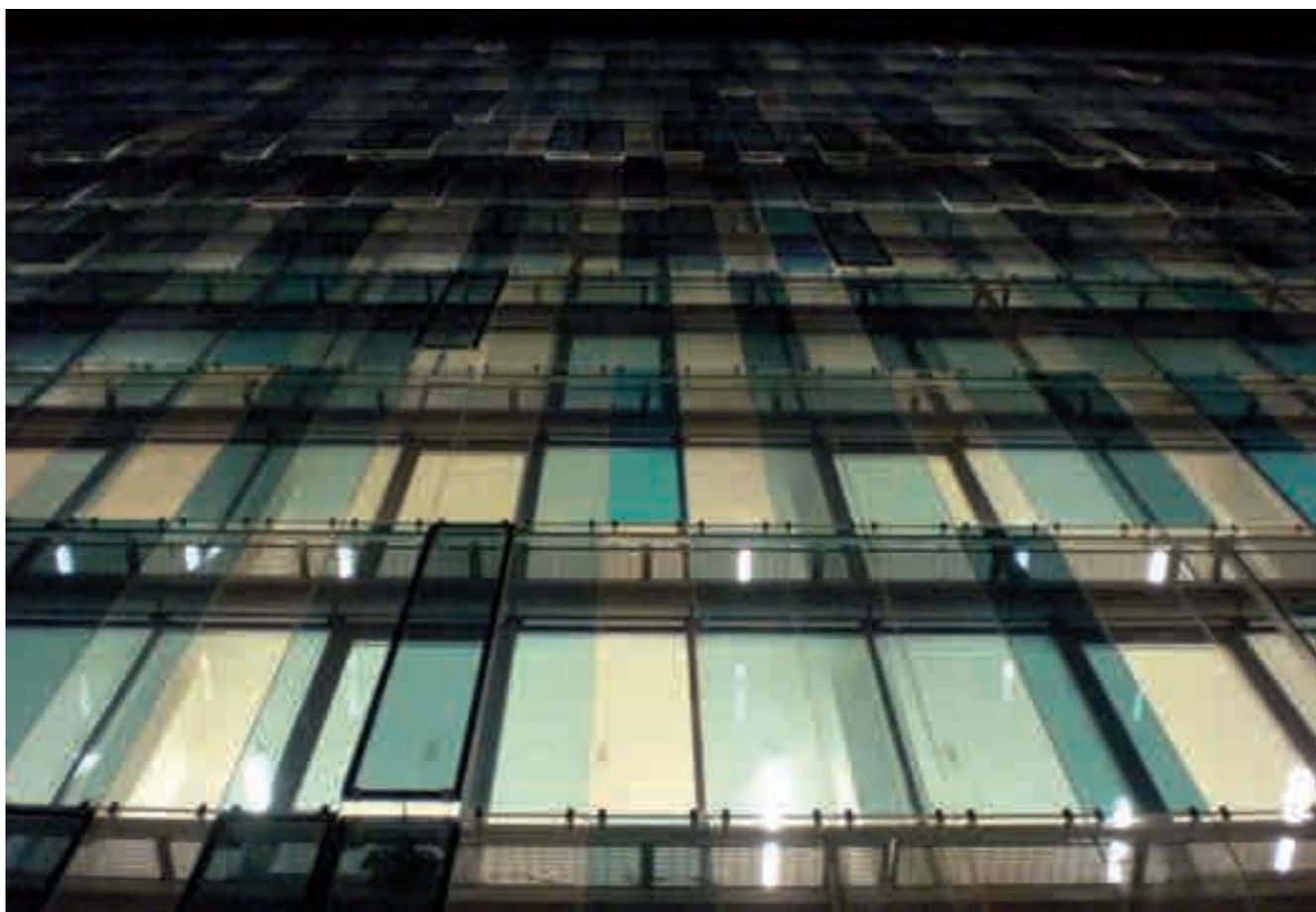


Figura 3. Blend Building, Milano, vista di insieme della facciata a doppia pelle.

Figura 4. Blend Building, Milano, particolare della facciata a doppia pelle.



A&RT

setti verticali: l'aria entra da un'apertura posta alla base dell'intercapedine stessa e da altre aperture in facciata, e fuoriesce da aperture poste nella parte alta della pelle esterna; tutte le aperture sono mobili.

La seconda vede la presenza di un'unica intercapedine di altezza pari a sei piani, dal sesto al dodicesimo, non divisa da setti verticali: l'aria entra da aperture in facciata a quote diverse e esce da un'apertura posta sul fronte opposto nella quota massima dell'intercapedine stessa; tutte le aperture sono mobili.

L'intercapedine è accessibile per operazioni di manutenzione e può essere aperta e quindi ventilata naturalmente grazie all'"effetto camino" che si viene a generare dall'apertura di finestrate poste nelle zone alta e bassa della facciata stessa, o completamente chiusa.

Il funzionamento della facciata è dinamico, varia automaticamente o per decisione degli utenti a seconda delle condizioni al contorno e delle esigenze di risparmio energetico e di comfort termico e visivo.

La facciata è costituita da una pelle interna con sistema a montanti in alluminio, con specchiature fisse e apribili con telai in alluminio a taglio termico e vetrocamera bassoemissivi.

La pelle esterna è formata da lastre in vetro stratificato selettivo di colori diversi a seconda del posizionamento, pinzate al perimetro, con giunti aperti per mantenere la permeabilità all'aria della camera e, quindi, contribuire a non avere surriscaldamento estivo.

Nell'intercapedine è posta una schermatura solare mobile costituita da una tenda a rullo, leggermente riflettente sull'esterno per consentire un miglior controllo solare, e microforata per far aumentare la trasmissione della luce e la visibilità dell'esterno quando viene abbassata.

Le due intercapedini indipendenti (dal primo al sesto piano e dal settimo al dodicesimo piano), possono essere completamente chiuse o aperte e sono entrambe accessibili per operazioni di manutenzione.

La ventilazione naturale per effetto camino delle intercapedini viene attivata o interrotta dall'apertura o chiusura delle aperture poste in diverse posizioni nella pelle esterna. Tale movimentazione avviene in modo automatico ed è controllata dal sistema di controllo, che si basa sull'analisi di appositi sensori di temperatura dell'aria esterna e interna. L'analisi dei dati misurati da questi sensori viene integrata dal sistema di controllo dall'analisi dello stato di funzionamento degli impianti (modalità di riscaldamento o raffrescamento).

Nel periodo invernale l'intercapedine è chiusa. La presenza di una seconda pelle vetrata e dell'intercapedine d'aria consente di diminuire la trasmittanza termica globale del sistema e, quindi, le perdite di calore per trasmissione. Nelle giornate invernali con la presenza di irradiazione solare l'aria all'interno dell'intercapedine si riscalda per effetto serra e consente non solo di diminuire le perdite di

calore per trasmissione, ma addirittura in certe circostanze, di avere rientrate gratuite di calore.

Si possono, quindi, individuare schematicamente le situazioni-tipo che si presentano nel periodo invernale, descrivendo per ciascuna il funzionamento della facciata a doppia pelle:

- di giorno, con impianti di riscaldamento accesi e locali occupati: tutte le aperture delle intercapedini sono chiuse. Si ha un effetto di "isolamento dinamico": l'aria dell'intercapedine chiusa costituisce una resistenza termica aggiuntiva: diminuiscono le perdite di calore per trasmissione e, quindi, il consumo energetico dell'impianto di riscaldamento. La temperatura superficiale del vetro interno è più alta e si ha un maggior comfort termico per gli utenti. I vantaggi aumentano in funzione della quantità di irradiazione solare presente;
- di notte, con impianti di riscaldamento accesi e locali occupati: tutte le aperture delle intercapedini sono chiuse. Si ha un effetto di "isolamento dinamico" come nel caso precedente che consente benefici analoghi a quelli sopra descritti, anche se in misura minore a causa dell'assenza di irradiazione;
- di notte, con impianti spenti e locali non occupati: tutte le aperture delle intercapedini sono chiuse. Si ha un effetto di "isolamento dinamico" come nel caso precedente, che contribuisce a mantenere la temperatura degli ambienti su livelli più alti. Diminuisce il consumo energetico dell'impianto di riscaldamento all'avvio mattutino per portare i locali alla temperatura di progetto.

Nel periodo estivo l'intercapedine è aperta. La ventilazione naturale che si attiva per effetto camino consente di evitare il surriscaldamento dell'intercapedine. L'ambiente interno si affaccia, quindi, su uno spazio filtro con aria in condizioni di temperatura simili all'aria esterna. Il grande vantaggio della presenza della pelle esterna è che questa rappresenta una protezione per la schermatura solare che può essere abbassata in presenza di radiazione solare diretta, consentendo di diminuire consistentemente la sua manutenzione. Di notte, la ventilazione naturale dell'intercapedine può favorire l'attivazione della ventilazione naturale degli ambienti e il loro raffrescamento per *free cooling*. In particolari condizioni di cielo sereno e bassa umidità relativa, lo scambio termico per irraggiamento con la volta celeste può far abbassare la temperatura dell'aria all'interno dell'intercapedine al di sotto di quella dell'aria esterna: in questi casi l'intercapedine viene chiusa per far sì che ci sia uno scambio termico dell'ambiente interno con uno spazio-cuscinetto a bassa temperatura.

Le principali situazioni-tipo che si presentano nel periodo estivo, sono:

- di giorno, con impianti di raffrescamento accesi e locali occupati: tutte le aperture delle intercapedini sono aperte: l'aria esterna ventila l'intercapedine in modo naturale per effetto camino. Non si ha surriscaldamento

dell'intercapedine. La schermatura solare, protetta dalla pelle esterna è alzata o abbassata in funzione dell'ora e della posizione del sole;

- di notte, con impianti spenti, locali non occupati e temperatura dell'aria in intercapedine maggiore di quella esterna: tutte le aperture delle intercapedini sono aperte. Il tiraggio naturale per effetto camino all'interno dell'intercapedine può favorire la ventilazione naturale degli ambienti e il raffrescamento passivo per *free cooling*;
- di notte, con impianti spenti, locali non occupati e temperatura dell'aria in intercapedine minore di quella esterna: tutte le aperture delle intercapedini sono chiuse. Lo scambio termico per irraggiamento con la volta celeste consente di avere una temperatura all'interno dell'intercapedine più bassa di quella dell'aria esterna: l'ambiente scambia in modo più efficace con uno spazio e temperatura inferiore.

Nel periodo di mezza stagione l'intercapedine è aperta o chiusa a seconda delle condizioni al contorno e delle esigenze interne, in modo da garantire la massima efficienza energetica del sistema integrato edificio-involucro-impianto. In giornate con alta irradianza solare ma con temperatura dell'aria esterna contenuta, se l'intercapedine si surriscalda e gli impianti passano in modalità "raffrescamento", l'intercapedine si apre per consentire la ventilazione naturale e lo smaltimento del calore in eccesso. In giornate con radiazione solare contenuta e temperatura dell'aria esterna bassa, e di notte, l'intercapedine è chiusa e consente di avere un isolamento termico aggiuntivo e una diminuzione delle perdite di calore per trasmissione.

Anche in questo progetto l'involucro è uno degli elementi messi a sistema per il raggiungimento della riqualificazione energetica dell'edificio.

Gli impianti di climatizzazione sono stati completamente rivisti con un duplice obiettivo: aumentare le efficienze globali per la diminuzione delle emissioni in atmosfera e dei consumi energetici da fonti non rinnovabili e garantire un migliore comfort per gli utenti.

Il gruppo frigorifero è in grado di parzializzazione e adattarsi ai carichi richiesti dall'edificio, ed è caratterizzato da elevati rendimenti. Le unità di trattamento aria sono a portata variabile con la possibilità di funzionare in *free cooling*.

Il sistema di condizionamento è del tipo ad aria primaria con ventilconvettori perimetrali a pavimento che vengono impiegati prevalentemente utilizzato a velocità bassissime favorendo una movimentazione dell'aria per dislocamento, senza arrecare fastidio agli occupanti e senza movimentare le polveri. L'aria viene immessa direttamente negli ambienti utilizzando come plenum di mandata i pavimenti galleggianti tramite un sistema di griglie perimetrali dove sono alloggiati i filtri terminali. L'aria primaria consente una buona climatizzazione nelle mezze stagioni, senza la necessità di utilizzo dei ventilconvettori, raffrescando o riscaldando leggermente i

pavimenti. Immessa in ambiente nella zona perimetrale dell'edificio "lava" in controcorrente i locali e i corridoi fino ai punti di estrazione localizzati in zona centrale in corrispondenza dei cavedi montanti.

Il sistema di condizionamento previsto ha uno dei suoi punti di forza nella flessibilità e nella modularità, che consente di garantire le condizioni di confort degli occupanti anche in seguito a modifiche della configurazione degli spazi. La mancanza di canali dell'aria in ambiente consente di evitare l'inserimento di controsoffitti mobili e permette di evitare il ribassamento in corrispondenza dei corridoi non essendo necessarie le canalizzazioni distributive principali di piano, a vantaggio di una migliore possibilità di configurazione e manutenzione degli spazi.

Il sistema di illuminazione integra dispositivi per il dimmeraggio che favoriscono l'integrazione con l'illuminazione naturale, il risparmio energetico, garantendo sempre le migliori condizioni di comfort visivo per gli utenti.

L'edificio, a valle della riqualificazione energetica svolta con un approccio integrato, vede un fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale E_{pH} che lo colloca in Classe Energetica B.

3. Nuovo Palazzo della Regione Piemonte: doppia pelle climatizzata

Il Nuovo Palazzo della Regione Piemonte a Torino, progettato da Massimiliano e Doriana Fuksas, di prossima costruzione, ha visto tra i principali obiettivi della progettazione già dalle prime fasi e per tutto l'iter procedurale, la forte riduzione dei consumi energetici rispetto a un edificio tradizionale, in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale, garantendo ottimi livelli di comfort per gli utenti.

L'edificio si presenta come un volume completamente vetrato, che adotta molteplici e complesse soluzioni progettuali ad elevata integrazione tra il sistema edilizio, il sistema degli impianti e l'ambiente circostante, che impiegano tecnologie avanzate fortemente innovative per raggiungere una reale sostenibilità ambientale.

Già dalle fasi preliminari l'involucro è stato concepito come un sistema a doppia pelle, in grado di coniugare la trasparenza con alte prestazioni energetiche. La sua morfologia si è evoluta nelle diverse fasi del progetto, in funzione sia dell'ottimizzazione delle prestazioni che della semplificazione della gestione e manutenzione in modo da diminuirne i costi.

L'edificio presenta quindi un involucro a doppia pelle trasparente, con intercapedine chiusa per ciascun modulo di facciata in cui è posta la schermatura solare mobile, con ventilazione integrata con gli impianti. Tale sistema è in grado di regolare le proprie prestazioni, adattandole al variare delle esigenze dell'utenza in risposta alle diverse sollecitazioni climatiche. In questo modo si ottengono ingenti risparmi di energia:

A&RT

- termica in inverno, grazie al fatto che l'intercapedine ventilata consente di sfruttare il guadagno solare indiretto che si ha per effetto serra all'interno dell'intercapedine stessa;
- frigorifera in estate grazie alla presenza della schermatura in posizione esterna rispetto alla superficie di frontiera interna e alla ventilazione dell'intercapedine con aria esausta, consentendo un elevato recupero dell'energia in essa contenuta;
- elettrica per l'illuminazione artificiale, grazie alla presenza delle ampie superficie a totale trasparenza che consentono la presenza in ambiente di alti livelli di illuminamento naturale e la modulazione delle condizioni di illuminazione attraverso la schermatura mobile per garantire in ogni momento le migliori condizioni di comfort visivo.

L'aria per la ventilazione dell'intercapedine viene ripresa

Figura 5. Nuovo Palazzo della Regione Piemonte, Torino, rendering di insieme (© Studio Fuksas).



meccanicamente e entra dall'ambiente all'intercapedine stessa passando per una fessura lineare alla base dell'anta interna dotata di filtro antipolvere. L'aria passa quindi attraverso canali isolati nel controsoffitto ed è mandata all'impianto di trattamento d'aria: nel periodo invernale attraversa un recuperatore di calore in modo da beneficiare dell'energia solare accumulata per effetto serra tra le due pelli vetrate, nel periodo estivo viene espulsa.

Le simulazioni dimostrano che la facciata in sia in condizioni invernali che estive consente di avere una temperatura radiante con valori prossimi a quella dell'aria interna, garantendo ottime condizioni di comfort per gli utenti anche a distanze ravvicinate rispetto alla facciata stessa. Nella facciata rivolta a sud sono integrati pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino ad alto rendimento, con la doppia funzione di generare energia elettrica e proteggere gli ambienti interni dalla radiazione solare.

L'involucro a doppia pelle è uno degli elementi messi a

Figura 6. Nuovo Palazzo della Regione Piemonte, Torino, rendering dell'interno dell'atrio (© Studio Fuksas).



sistema per consentire alte prestazioni energetiche al Nuovo Palazzo della Regione Piemonte. L'edificio, nelle sue diverse parti costituenti, non è stato concepito come sistema energetico a sé stante, ma come elemento fortemente connesso alla parte di città in cui sorge e alle sue infrastrutture energetiche (teleriscaldamento urbano).

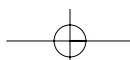
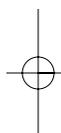
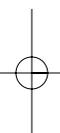
Si prevede un sistema combinato che comporta l'impiego del teleriscaldamento e della geotermia con acqua di falda, in modo da evitare le punte di carico nei mesi invernali in cui i consumi sono elevati per la forte richiesta cittadina e la sottoutilizzazione estiva della produzione di calore e delle reti di distribuzione. La scelta di avere due sistemi completamente indipendenti per il riscaldamento e il condizionamento (il teleriscaldamento e le pompe di calore) assicura il servizio anche nel caso di completo guasto di uno dei due. Il teleriscaldamento è

utilizzato in modo il più possibile costante per tutto l'arco dell'anno per far fronte alle richieste di base sia dell'acqua calda che dell'acqua refrigerata, mediante l'impiego di un gruppo ad assorbimento proprio nei momenti in cui vi è maggiore disponibilità di acqua calda nella rete, e non si concentra, come avviene invece ordinariamente, nei mesi invernali.

La geotermia con pompe di calore polivalenti provvede a soddisfare le richieste di picco sia di energia termica che frigorifera. Accumuli termici consentono di ridurre la portata di prelievo dai pozzi e la potenza delle macchine installate e di differire nell'arco della giornata i consumi. Con il Nuovo Palazzo i costi energetici sostenuti dalla Regione Piemonte per il riscaldamento, il condizionamento, e gli usi elettrici, rispetto a quelli attuali per le varie sedi nella città sarà fortemente ridotto.



A&RT



L'innovazione tecnologica per i sistemi energetici e gli impianti
Technical innovation for primary and secondary systems



A&RT

Introduzione

Foreword

Negli edifici sostenibili, frutto di strategie progettuali finalizzate ad un basso impatto ambientale, ad un uso contenuto delle risorse e all'ottenimento di condizioni di comfort elevate per l'utenza, gli impianti e i sistemi energetici al loro servizio giocano un ruolo determinante. Nei protocolli di valutazione della sostenibilità, come ad esempio il LEED® e il BREEAM, essi incidono, direttamente o indirettamente, su circa il 50% sul totale dei crediti acquisibili.

Gli impianti meccanici ed elettrici devono essere caratterizzati da una buona capacità di controllo dei parametri ambientali (temperatura, umidità relativa, qualità dell'aria, illuminazione, portate di fluidi ecc.), da una elevata efficienza nelle trasformazioni energetiche che riguardano la produzione di energia termica ed elettrica, da un basso impiego di energia per il trasporto dei fluidi, da un limitato impiego di risorse energetiche non rinnovabili, e, infine, da un significativo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili disponibili in loco.

Prendendo spunto dalla direttiva comunitaria 2010/31/CE, che stabilisce che a partire dal 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere edifici "a energia quasi zero", Luca Stefanutti, primo relatore di questo terzo incontro moderato da Marco Masoero, ha trattato due innovative tipologie di impianti di climatizzazione: i sistemi ad attivazione della massa ad aria e le travi fredde a portata variabile.

A seguire l'attenzione si è spostata sui sistemi radianti per la climatizzazione (a cura di Massimiliano Scarpa), utilizzabili sia nel periodo invernale che nel periodo estivo, specie se accoppiati a pompe di calore.

Proprio le pompe di calore reversibili, cioè quelle in grado di fornire acqua calda nel periodo invernale e acqua refrigerata nel periodo estivo, sono state al centro dell'attenzione del pubblico in sala, grazie alla magistrale relazione del presidente dell'Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, Michele Vio. In particolare il relatore ha messo in evidenza che nel periodo invernale, in certe condizioni climatiche estreme, cioè al di sotto di 4°C si ha, per le pompe di calore che utilizzano l'aria esterna come fonte di energia termica, una forte caduta di efficienza e che tale caduta porta all'impiego di sistemi energetici integrati (ad esempio una pompa di calore elettrica aria-acqua associata a una caldaia a condensazione) regolati automaticamente in modo da generare il calore nelle condizioni di massima efficienza in termini di energia primaria.

In tema di edifici "a energia quasi zero", in grado di produrre localmente energia termica ed elettrica, preferibilmente a partire da fonti energetiche rinnovabili, non potevano mancare letture critiche sulle prospettive di sviluppo della micro-cogenerazione, eventualmente estesa alla micro-trigenerazione (a cura di Ennio Macchi), del solare termico (a cura di Marco Beccali) e del solare fotovoltaico (a cura di Stefano Fissolo). È un vero peccato che Ennio Macchi non ci abbia lasciato memoria del suo interessante e stimolante intervento.

Purtroppo lo stesso dobbiamo dire di Fabio Zanola, direttore tecnico di Artemide s.p.a., che ha affascinato i presenti con una ampia e articolata illustrazione delle principali sfide che si trova oggi ad affrontare l'industria degli apparecchi di illuminazione con l'obiettivo di mettere a disposizione dei progettisti soluzioni che garantiscano una buona qualità della luce con un basso consumo di energia. Si è parlato in particolare dello studio di nuovi apparecchi illuminanti in grado di accogliere sorgenti luminose di tipo LED (Light Emission Diode), caratterizzate da alta efficienza luminosa e lunga durata, e dell'evoluzione dei sistemi di controllo del flusso luminoso, sempre più puntuali (sul singolo apparecchio) e sempre più individuali (gestiti dal singolo utente).

In tema di innovazione tecnologica nel settore impiantistico non poteva mancare, infine, una panoramica sulle soluzioni che oggi offre il settore della *building automation* e della domotica (a cura di Gianluca Dho): un tuffo nel futuro sempre più prossimo del nostro abitare.

Marco Filippi

Gli impianti per gli edifici sostenibili

HVAC for sustainable building

LUCA STEFANUTTI

La direttiva comunitaria 2010/31/CE stabilisce che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione debbano essere “a energia quasi zero”, cioè ad altissima prestazione energetica. A tale scopo il fabbisogno energetico per la copertura dei consumi di riscaldamento, raffrescamento e produzione dell’acqua calda sanitaria dovrà essere molto basso o quasi nullo e dovrà essere soddisfatto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili. Per raggiungere tale ambizioso obiettivo, i progettisti dovranno puntare sulle più avanzate tecnologie per la climatizzazione. Tra queste per le applicazioni nel settore terziario si distinguono due soluzioni innovative: i sistemi ad attivazione della massa ad aria e le travi fredde a portata variabile.

Luca Stefanutti, ingegnere, svolge l’attività professionale a Milano con il proprio studio di consulenza e progettazione. È docente a contratto presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano.

luca.stefanutti@tiscali.it

According to the European Directive 2010/31/CE, by 31 December 2020 all the new buildings should be “nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)”, which are defined as buildings with very high energy performances. This means that the energy requirement for cooling, heating and hot water production shall be very low or zero and shall be covered to a very significant extent by energy from renewable sources. In order to reach this goal, the best available HVAC systems should be adopted in order to increase the energy performances. Concrete activation systems with air supply and VAV chilled beams are some of the most advanced solutions for office buildings.

1. Il sistema edificio-impianti

Due sono attualmente i punti di riferimento che orientano le scelte di architetti e impiantisti nella progettazione degli edifici: il contenimento del fabbisogno energetico, sia in fase invernale sia in quella estiva, e la necessità di garantire elevati livelli di benessere e di qualità dell’aria indoor. A ciò si aggiunge il desiderio di garantire un’adeguata illuminazione naturale degli ambienti interni, che porta a progettare edifici con estese superfici vetrate.

Dal punto di vista del controllo del microclima interno, le elevate prestazioni termiche dell’involucro si traducono in una tendenza ormai consolidata verso la riduzione della potenza e dell’energia consumata per il riscaldamento. Per contro l’ampio uso di facciate vetrate e l’elevata produzione di calore dovuta a persone e computer comporta sempre di più la necessità di raffrescare gli edifici anche nei periodi non strettamente estivi. A tale scopo, oltre all’utilizzo di adeguate schermature solari, la soluzione più idonea per limitare i consumi energetici consiste nello sfruttare al massimo l’aria prelevata dall’esterno a bassa temperatura (ovvero al di sotto di 15-16 °C) nella mezza stagioni (e anche in inverno) per distribuirli direttamente negli ambienti. Tale concetto prende il nome di *free-cooling*, ovvero di raffreddamento gratuito degli ambienti senza fare uso di apparecchiature frigorifere,

A&RT

il cui impiego può essere limitato ai periodi di punta estivi, con un sensibile risparmio energetico.

Tale considerazione porta a valutare con attenzione l'impiego di sistemi di climatizzazione basati sull'impiego di elevate portate d'aria, come gli impianti con attivazione della massa ad aria.

Allo stesso tempo devono essere analizzate altre opzioni, come gli impianti a travi fredde a portata variabile, caratterizzati da un'elevata flessibilità in risposta a profili di carico molto variabili e alle sempre più frequente necessità di modifica delle distribuzioni interne.

2. L'attivazione della massa ad aria

La tecnica di utilizzare la struttura dell'edificio, in particolare il pavimento, come mezzo per controllare la temperatura dell'ambiente è vecchia... di 2000 anni. Il *tepidarium* delle terme romane costituisce infatti il primo esempio di ambiente riscaldato mediante un sistema radiante, chiamato *ipocausto*, basato sulla circolazione di aria calda all'interno di uno spazio vuoto ricavato sotto il pavimento. Una soluzione che è stata ripresa e rivisitata in epoca moderna negli anni '50 e '60 con l'impiego di serpentine di tubi in ferro percorse da acqua calda integrate nei solai e che ha avuto negli ultimi anni un notevole sviluppo per quanto riguarda le tecniche ed i materiali impiegati, fino ad arrivare agli attuali pannelli radianti con tubazioni plastiche, utilizzati anche per il raffrescamento.

La soluzione tradizionale per climatizzare gli ambienti con sistemi radianti si basa sull'impiego di pannelli posti a pavimento, a soffitto o parete, che devono essere necessariamente integrati da un impianto per la distribuzione di aria prelevata dall'esterno che, opportunamente trattata, garantisce il ricambio igienico ed il controllo dell'umidità.

Quest'ultima funzione è di estrema importanza durante i mesi caldi e umidi e viene realizzata sottoponendo l'aria ad un trattamento di deumidificazione mediante il suo raffreddamento fino ad una temperatura di 13-14 °C, in corrispondenza della quale si ottiene la condensazione del vapore d'acqua. Ciò consente di ottenere un flusso d'aria secca che, una volta immessa in ambiente, permette di mantenere l'umidità relativa ai valori di benessere. Questo flusso d'aria non può tuttavia essere immesso direttamente in ambiente alla temperatura di 14 °C in quanto causerebbe correnti d'aria fredda e quindi condizioni di disagio per le persone. È perciò necessario riscaldare l'aria fino a 16-18 °C mediante una sorgente termica, con un conseguente onere energetico ed economico.

In definitiva il sistema radiante tradizionale comporta un dispendio energetico su più fronti: per il raffreddamento dell'acqua da utilizzare nelle serpentine dei pannelli, per la deumidificazione dell'aria di ventilazione e per il suo successivo riscaldamento. Tali limiti possono essere superati utilizzando il sistema di attivazione della massa ad aria.

2.1. Il sistema Concretcool

Il sistema Concretcool, sviluppato in Germania una decina di anni fa, si discosta decisamente dalle soluzioni radianti tradizionali. Esso costituisce qualcosa di unico nel suo genere e in qualche modo presenta qualche somiglianza proprio con l'ipocausto romano, essendo la combinazione di un sistema radiante con un impianto di distribuzione dell'aria necessaria per la ventilazione dell'ambiente, il tutto integrato nei solai in calcestruzzo della struttura.

Ma ciò che più desta interesse, oltre all'aspetto tecnico, è il fatto che per sviluppare e adottare un concetto di questo tipo nel progetto di un edificio è necessario seguire un approccio davvero olistico, secondo il quale architettura, strutture e impianti rappresentano discipline intimamente legate ed indissolubili.

La soluzione Concretcool si basa sull'impiego di serpentine di tubi in estruso di alluminio che provvedono a distribuire l'aria dall'impianto di trattamento fino all'ambiente. I tubi vengono posati all'interno dell'armatura dei solai e successivamente annegati direttamente nel getto di calcestruzzo (Figura 1). I tubi hanno un diametro di 60 o 80 mm e sono caratterizzati da un profilo interno dotato di lamelle ottenute per estrusione che aumentano la superficie interna di scambio e quindi la trasmissione di calore.

Durante il periodo estivo l'impianto di trattamento dell'aria provvede al suo raffreddamento fino a 14 °C per garantirne la deumidificazione. L'aria viene immessa a questa temperatura nelle tubazioni, distribuite su tutta la superficie dei solai, e progressivamente cede la sua energia frigorifera alla massa in calcestruzzo. In questo modo la struttura viene raffreddata e si trasforma in una superficie radiante che accumula e scambia energia frigorifera con l'ambiente occupato assicurando un effetto di raffreddamento su tutta la superficie. Per assicurare la massima efficienza radiante è ovviamente necessario che le superfici a pavimento e a soffitto siano libere di controsoffitti o pavimenti galleggianti.

Lo scambio di calore tra tubi e struttura presenta un'efficienza fino al 90%, il che significa che, in presenza di un solaio in cemento che si trova ad una temperatura costante di 22 °C, l'aria che passa attraverso i tubi si riscalda fino ad una temperatura di circa 21 °C, alla quale viene immessa in ambiente mediante normali diffusori. L'elevato scambio energetico tra aria e calcestruzzo permette quindi di ottenere una duplice funzione: raffreddare la struttura e utilizzare la massa dell'edificio per effettuare il riscaldamento dell'aria di ventilazione, che viene quindi effettuato senza ricorrere al consumo di energia primaria.

Nel funzionamento invernale l'aria esterna viene riscaldata mediante un recuperatore di calore fino a 10-15 °C, temperatura alla quale può essere distribuita nei tubi aletti senza subire ulteriori trattamenti. Per il trattamento

Figura 1. Il sistema Concretcool si basa sull'impiego di serpentine di tubi in estruso di alluminio per la distribuzione dell'aria, annegati direttamente nel getto di calcestruzzo.

Figura 2. Lo Skline Tower di Monaco di Baviera presenta i tratti peculiari dell'architettura di Helmut Jahn: facciate in vetro e struttura in acciaio (rendering © BBIG).

Figura 3. Rigore e classicismo sono gli elementi che caratterizzano la nuova grande biblioteca di Berlino climatizzata mediante un sistema Concretcool (foto © Stefan Müller).

Figura 4. Per la nuova sede 3M di Pioltello (Milano), firmata da Mario Cucinella, sono state adottate travi fredde ad incasso montate a filo controsoffitto, affiancate su ambo i lati da plafoniere di illuminazione.



A&RT

delle sole zone perimetrali o di uffici singoli che richiedono un controllo specifico della temperatura ambiente, è necessario prevedere un sistema aggiuntivo, in genere del tipo a ventilconvettori oppure a travi fredde.

2.2. I vantaggi

Il sistema di climatizzazione mediante raffreddamento della massa con aria è particolarmente indicato per strutture in cemento armato con estese superfici a pavimento e a soffitto, quali uffici, scuole, ospedali e centri commerciali. Dato che utilizza tubazioni di distribuzione dell'aria annegate nella struttura, il sistema può essere classificato a tutti gli effetti come un impianto di climatizzazione a tutta aria. La principale differenza rispetto ai sistemi radianti tradizionali è proprio questa: esso utilizza soltanto aria per ottenere sia il controllo della temperatura ambiente (mediante l'effetto radiante della struttura) sia il controllo dell'umidità e la ventilazione dell'ambiente (mediante l'immissione di aria primaria).

In definitiva il sistema Concretcool consente di ottenere i seguenti vantaggi:

- elevate condizioni di comfort grazie al controllo di temperatura mediante l'effetto radiante delle superfici;
- riduzione dei consumi energetici grazie all'accumulo termico della massa dell'edificio, allo sfruttamento ottimale del free-cooling e alla eliminazione del postriscaldamento dell'aria in fase estiva;
- eliminazione dei canali dell'aria, sostituiti dalle tubazioni annegate nei solai, con riduzione dei costi di impianto;
- eliminazione dei controsoffitti e quindi aumento dell'altezza di piano (o riduzione dell'altezza dell'edificio).

Nel corso degli ultimi 10 anni il sistema *Concretcool* è stato utilizzato nei paesi del Nord Europa (Germania, Svizzera, Austria) per la climatizzazione di quasi 50 edifici ed un totale di 260.000 m². Le principali applicazioni riguardano progetti per il terziario ma non mancano esempi di strutture ospedaliere e di edifici pubblici. Meritano una citazione due edifici: il complesso Skyline Tower di Monaco di Baviera (Figura 2), progettato da Helmuth Jahn, e lo Jacob und Wilhelm Grimm Zentrum, la nuova biblioteca centrale di Berlino, progettata da Max Dudler (Figura 3).

3. Travi fredde a portata variabile

Nell'ambito della progettazione coordinata ed integrata del sistema edificio-impianto, fondamentali sono la flessibilità e l'impatto estetico delle apparecchiature per la climatizzazione installate in ambiente. Affermatesi come la vera novità dell'ultimo decennio nel campo della climatizzazione, le travi fredde sono apparecchiature in grado di garantire il controllo della temperatura ambiente ed il ricambio dell'aria. Possono essere installate a vista in aderenza al soffitto oppure ad incasso in controsoffitti modulari o in cartongesso e presentano dimensioni di 60 cm. in larghezza,

mentre la lunghezza è funzione della potenza richiesta e può essere compresa tra 1,8 e 3 metri. La disposizione delle travi può essere perpendicolare alla facciata (Figura 4) oppure parallela ed è modulare ovvero ogni trave viene dimensionata e posizionata in modo tale da trattare un modulo dell'ambiente di una determinata superficie (Figura 5).

Rispetto ad altri tipi di terminali che svolgono le medesime funzioni, come i fan-coil, le travi fredde presentano alcuni importanti vantaggi: elevate condizioni di comfort grazie all'immissione di aria a bassa velocità con un gradiente termico limitato (quindi senza correnti d'aria fredda), silenziosità, ridotta manutenzione grazie all'assenza di filtri e di ventilatori. Inoltre assicurano bassi consumi energetici grazie all'impiego di acqua calda e fredda a temperature moderate (ottenibile in fase di raffreddamento mediante free-cooling) e all'eliminazione del ventilatore. Gli aspetti legati alla facilità di integrazione negli spazi e alla flessibilità rendono poi le travi fredde un'opzione interessante dal punto di vista del coordinamento con il progetto architettonico.

3.1. Una soluzione integrata

L'integrazione nel progetto degli interni è resa facile da una serie di aspetti: l'installazione a soffitto (senza ingombri a pavimento), il ridotto ingombro in altezza (soli 20 cm.) e la combinazione in un solo elemento delle funzioni di controllo della temperatura e della diffusione dell'aria.

L'impatto estetico dei modelli ad incasso si limita alla griglia di aspirazione dell'aria ambiente realizzata con un pannello microforato, ai lati del quale sono poste le due feritoie dalle quali viene immessa l'aria trattata. I modelli per installazione a vista, solitamente adottati quando non è possibile realizzare un controsoffitto (ad esempio nelle ristrutturazioni di ambienti con altezza inferiore a 2,7 metri), presentano invece un carter metallico di sezione quadrata a spigoli arrotondati oppure a sezione alare. Entrambe le versioni possono essere integrate con sistemi di illuminazione diretta verso il basso (quella a vista anche con illuminazione indiretta verso l'alto), come pure con rivelatori di fumo e testine antincendio sprinkler (Figura 6). In questo modo la trave fredda si può trasformare in un elemento multifunzionale riducendo gli spazi occupati a soffitto dagli impianti e semplificando le operazioni di montaggio.

3.2. Il fattore flessibilità

Gli uffici evoluti sono caratterizzati da una forte dinamicità che richiede un'elevata flessibilità in considerazione sia della frequente necessità di modifiche del lay-out interno, conseguenti a riorganizzazioni aziendali o a cambiamenti dell'utenza, sia dell'utilizzo discontinuo degli spazi di lavoro. L'esperienza dimostra che i livelli effettivi di affollamento in spazi caratterizzati da profili di occupazione

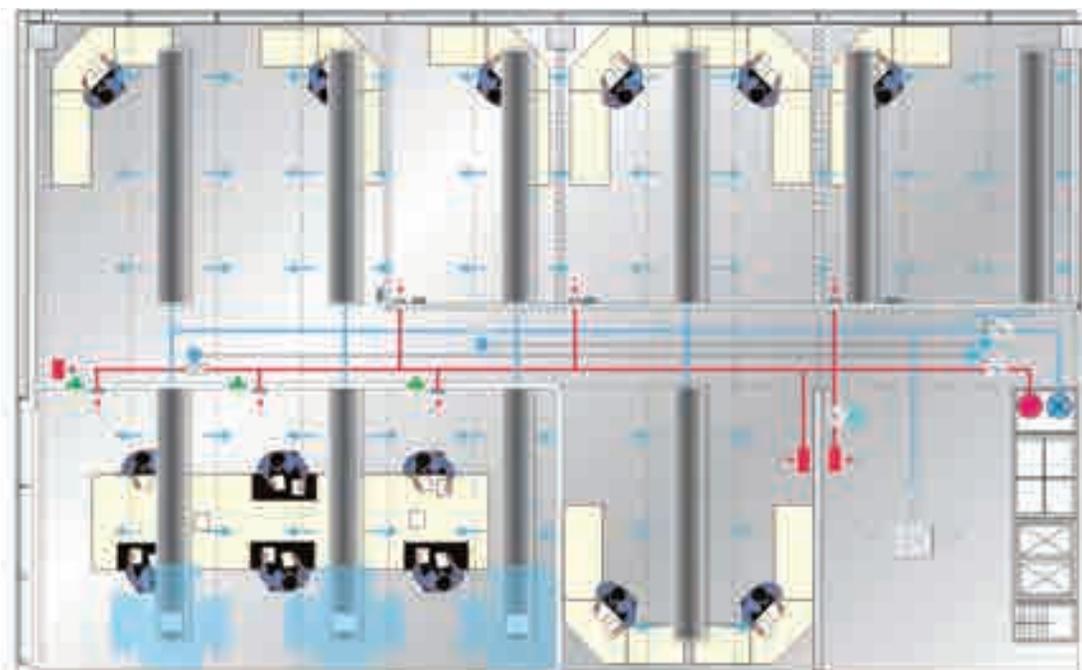


Figura 5. La disposizione delle travi fredde è modulare e segue il lay-out delle postazioni di lavoro.

Figura 6. Le travi fredde installate a vista possono essere dotate di sistema di illuminazione diretta e indiretta e trasformarsi in terminali multifunzionali.

Figura 7. Le travi fredde VAV di nuova generazione permettono di modulare la portata d'aria di ventilazione in modo automatico oppure manualmente grazie ad un touch panel.

Figura 8. Le travi fredde Inducool presentano una piastra alettata radiante in estruso di alluminio con diffusore d'aria integrato.

Figura 9. Ambiente trattato con una fila continua di travi fredde radianti.



A&RT

molto variabili, come uffici e sale riunioni, sono inferiori di almeno il 25% rispetto al previsto, con punte fino al 60%.

L'esigenza di flessibilità ha ovviamente un impatto anche sulle caratteristiche dei terminali per la climatizzazione, che devono essere tali da permettere un adattamento ai nuovi lay-out riducendo al minimo i costi dovuti alla riconfigurazione degli spazi, ove possibile senza modificare la posizione delle apparecchiature poste a soffitto.

Le travi fredde di nuova generazione rispondono molto bene a queste esigenze essendo dotate di sistemi che permettono di modificare la portata dell'aria immessa, e quindi le prestazioni, in base all'effettivo affollamento dell'ambiente servito, conseguente alla sua destinazione d'uso. Un ambiente originariamente concepito come ufficio e destinato, ad esempio, ad ospitare due persone, può trasformarsi in una sala riunioni per 10 persone garantendo l'aumento del ricambio d'aria richiesto. Viceversa in tutti gli ambienti che risultano non occupati durante il giorno è possibile ridurre al minimo la portata d'aria immessa con un sensibile risparmio energetico ed economico. L'operazione di modulazione della portata può avvenire in modo automatico grazie all'impiego di sonde di qualità dell'aria che misurano la presenza della CO₂ emessa dagli occupanti, oppure manualmente per mezzo di un touch panel (Figura 7). Le travi fredde sono inoltre dotate di un sistema per la variazione della direzione del flusso d'aria immessa che garantisce, in caso di aumento della portata dell'aria o di modifica del lay-out interno, il mantenimento delle condizioni di benessere ambientale.

In definitiva le travi fredde di tipo avanzato garantiscono elevati livelli di qualità dell'aria ambiente e al tempo stesso permettono di risparmiare l'energia che solitamente viene sprecata nella ventilazione di spazi non occupati. Grazie all'impiego di un impianto a travi fredde a ventilazione

controllata è possibile ridurre dal 30% al 50% i consumi dovuti al trattamento del microclima ambientale.

3.3. Travi fredde con piastra radiante

Oltre alle travi fredde di tipo tradizionale esiste anche la versione Inducol, del tutto particolare per quanto riguarda gli aspetti prestazionali e l'impatto estetico: si tratta infatti di un elemento realizzato con una piastra alettata in estruso di alluminio "attivata" mediante una serpentina di tubazioni percorse da acqua fredda o calda che la trasformano in un elemento radiante (Figura 8). La piastra è accoppiata ad un diffusore lineare che provvede all'immissione dell'aria in ambiente. L'impatto estetico che ne risulta è quindi decisamente diverso dai modelli tradizionali: l'elemento a vista si riduce alla piastra alettata che presenta una larghezza di soli 30 cm, mentre il diffusore risulta completamente nascosto (Figura 9). Grazie al diverso sistema di collegamento con i canali dell'aria (laterale invece che di testa), è possibile realizzare file continue e ininterrotte di qualsiasi lunghezza, trasformando la trave fredda in un elemento dell'interior design.

Bibliografia

- AA.VV., *Manuale degli impianti di climatizzazione*, Tecniche Nuove, Milano 2008
- AA.VV., *Manuale d'ausilio alla progettazione termotecnica*, AICARR, Milano 2009
- L. Stefanutti, *Impianti per gli edifici sostenibili*, Tecniche Nuove, Milano 2010
- L. Stefanutti, *Impianti di climatizzazione. Progettare per l'architettura*, Tecniche Nuove, Milano 2011

Impianti a radiazione per il riscaldamento e il raffrescamento

Radiant panels for heating and cooling

MASSIMILIANO SCARPA

I terminali d'impianto consistono nei componenti di recapito dell'energia termica/frigorifera presso l'ambiente da riscaldare/raffrescare. I terminali d'impianto più conosciuti sono i radiatori (termosifoni), i ventilconvettori (fan-coil) e i pannelli radianti. Proprio questi ultimi sono oggetto della presente memoria. Dapprima se ne introdurranno le principali tipologie e caratteristiche. Successivamente si illustreranno i limiti operativi dei pannelli radianti, per chiudere infine con la descrizione dei TABS (Thermally Active Building Systems, sistemi ad attivazione termica della massa), una tipologia di pannelli radianti in grado di garantire elevati risparmi energetici ed economici.

Massimiliano Scarpa, ingegnere meccanico, Dottore di Ricerca in Energetica, titolare di assegno di Ricerca presso il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università degli Studi di Padova.

massimiliano.scarpa@unipd.it

Heating and cooling thermal units are the parts of the system that deliver heating and cooling to the indoor environment. Radiators, fan-coils and radiant panels are the most known thermal units. Radiant panels are the subject of this paper, that is aimed to introduce their main types, characteristics, critical aspects and future technological perspectives, such as TABS (Thermally Active Building Systems), radiant panels able to relevantly decrease energy consumption and investment and operation costs to heat/cool office buildings.

Introduzione

I terminali d'impianto sono spesso considerati solo dai punti di vista funzionale o estetico, dunque usualmente non viene pienamente considerata la loro importanza nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici. Essi invece costituiscono l'interfaccia tra impianto e utente e sono di conseguenza fondamentali per l'ottimizzazione dell'efficienza energetica, oltre che per la percezione del livello di comfort. Essi influenzano infatti non solo l'ambiente interno, ma anche l'efficienza dei sistemi e dei componenti impiantistici a monte.

Dal punto di vista energetico, i terminali d'impianto possono essere efficacemente classificati nelle seguenti categorie:

- terminali d'impianto a elevata temperatura (radiatori), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 55°C;
- terminali d'impianto a media temperatura (ventilconvettori), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 45°C;
- terminali d'impianto a bassa temperatura (pannelli radianti), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 35°C.

Tale distinzione si riferisce tacitamente al caso di funzionamento invernale, tuttavia trova un corrispettivo anche in fase di funzionamento estivo:

- terminali d'impianto a bassa temperatura (ventilconvettori finalizzati alla deumidificazione), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 7°C;
- terminali d'impianto a media temperatura (ventilconvettori finalizzati al

A&RT

solo raffreddamento sensibile), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 14°C;

- terminali d'impianto ad alta temperatura (pannelli radianti), con temperature di mandata ai terminali attorno ai 18°C.

Risulta dunque evidente la simmetria della classificazione, che fondamentalmente consente di distinguere i terminali d'impianto in base al valore assoluto della differenza di temperatura tra l'acqua fluente nel terminale e la temperatura di set-point dell'ambiente confinato.

L'importanza che un'accurata scelta dei terminali d'impianto riveste nell'ambito dell'efficienza energetica dell'edificio la pone tra le fondamentali strategie di abbattimento del consumo energetico dell'edificio stesso. Infatti, una volta effettuati interventi di abbattimento del fabbisogno energetico d'involucro, quali il ricorso a efficaci livelli d'isolamento per le chiusure opache e trasparenti, l'uso di sistemi d'ombreggiamento estivo e l'installazione d'impianti di ventilazione meccanica controllata, ecco che i terminali d'impianto vengono a determinare l'efficienza globale dell'impianto e, di conseguenza, del complesso edificio-impianto. Essi infatti rivestono fondamentale importanza nel miglioramento dei tre principali rendimenti che vanno a determinare il rendimento d'impianto:

- rendimento di emissione – I terminali d'impianto a bassa differenza di temperatura tra mandata e ambiente consentono generalmente l'ottenimento di condizioni in ambiente estremamente uniformi, evitando fenomeni di sovrariscaldamento/sovraraffrescamento localizzati e di stratificazione dell'aria. Di conseguenza tali sistemi, limitando le disuniformità termiche, consentono di diminuire il fabbisogno energetico necessario per mantenere il volume occupato alle prestabilite condizioni di comfort.
- rendimento di distribuzione – In particolare, i terminali d'impianto che lavorano con temperature d'adduzione vicine alla temperatura di set-point dell'ambiente confinato consentono di diminuire drasticamente le perdite di energia termica/frigorifera lungo la rete di distribuzione.

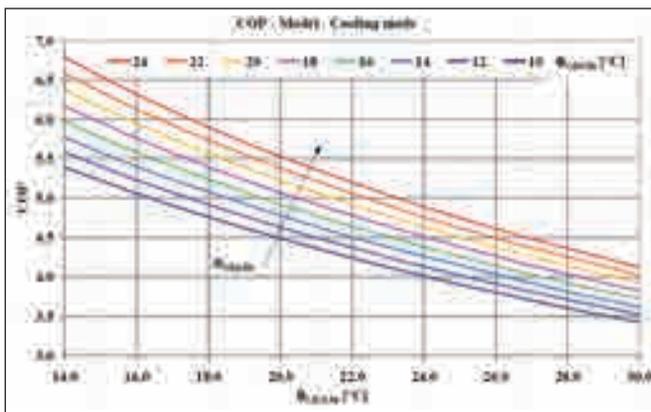
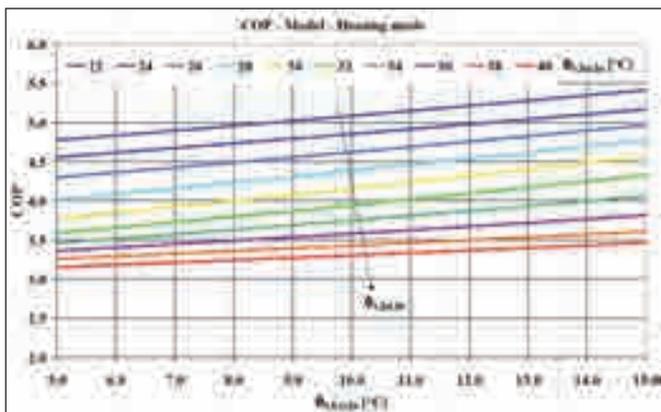
- rendimento di produzione – In tale ambito, i terminali d'impianto caratterizzati da temperature di mandata basse d'inverno e (relativamente) elevate in estate consentono alle macchine di produzione dell'energia termica/frigorifera di raggiungere le massime rese. Così, per esempio, si riescono a sfruttare totalmente le potenzialità delle caldaie a condensazione, nonché a far lavorare in ottime condizioni i sistemi di produzione di caldo/freddo a ciclo inverso, cioè pompe di calore e refrigeratori (Figure 1a, 1b).

1. I pannelli radianti

I pannelli radianti consistono in circuiti idronici sviluppati all'interno di superfici circostanti la zona da climatizzare. Essi s'articolano in realtà in una moltitudine di tipologie, per le principali delle quali si fornisce una breve descrizione nel seguito, supportata da immagini tratte dalla documentazione tecnica di UPONOR:

- pannelli radianti a pavimento tradizionali – In essi lo sviluppo dei tubi che veicolano l'acqua destinata a cedere/raccogliere l'energia termica avviene alla base d'un massetto dello spessore di circa 7÷8 cm. I tubi sono dapprima fissati a uno strato isolante sottostante (finalizzato a minimizzare le perdite d'energia termica/frigorifera verso il locale sottostante e ad aumentare la velocità di messa a regime) attraverso sistemi a incastro (su isolante bugnato o su barre di aggancio) o mediante fissaggio punzonato. Essi sono caratterizzati da elevata uniformità termica, ma scontano una rilevante inerzia termica che ne pregiudica l'efficacia nel caso di carichi termici/frigoriferi velocemente variabili. Un esempio di pannelli radianti tradizionali è presentato in Figura 2;
- pannelli radianti a pavimento, a secco – Contraddistinti da limitati spessori, si rivelano molto utili nel caso di rinnovamenti. In essi l'elemento attivo è costituito da tubi intimamente collegati a una lamina di metallo finalizzata a distribuire l'energia termica/frigorifera sull'intera estensione del pavimento. Spesso, infatti, l'elemento attivo poggia su supporti lignei tra cui è steso uno strato d'isolante,

Figure 1a, 1b. Esempi di andamenti del coefficiente di effetto utile per pompe di calore acqua-acqua in modalità di riscaldamento (a) e raffreddamento (b), al variare delle temperature del fluido esterno ($\theta_{S,Ext,In}$) e del fluido interno ($\theta_{S,Int,In}$).



mentre il pacchetto sovrastante, di distribuzione del carico, viene realizzato con strutture a secco, spesso in legno o fibrogesso. Sia gli strati d'appoggio che quelli di distribuzione del carico sono quindi contraddistinti da scarsi valori della conduttività termica, da cui la necessità di predisporre nell'elemento attivo la succitata lamina metallica in contatto con i tubi. Inoltre, l'elevata resistenza termica che spesso caratterizza il pacchetto di distribuzione del carico implica temperature di mandata all'elemento radiante sensibilmente più elevate in riscaldamento e più basse in raffreddamento, al fine di raggiungere la medesima capacità specifica termica/frigorifera di elementi radianti a pavimento tradizionali. In Figura 2b viene presentato un tipico esempio di pannello radiante a secco per pavimento;

- pannelli radianti sottili per pavimenti e pareti – Essi consistono in tubi di diametro limitato, talvolta del tipo detto “capillari”, posti sulla parte superficiale della struttura attiva, come esemplificato in Figura 2c;
- pannelli radianti prefabbricati per pareti e soffitti – I pannelli prefabbricati, generalmente in cartongesso, integrano al proprio interno i tubi costituenti il circuito radiante, eventualmente accoppiati a lamine metalliche per una migliore distribuzione dell'energia termica/frigorifera, nonché a uno strato d'isolamento, generalmente dello spessore di circa 2÷3 cm, come illustrato in Figura 2d. Essi vengono installati mediante sovrapposizione alla parete o al soffitto, eventualmente costruendo una controparete la cui intercapedine può essere efficacemente utilizzata quale vano tecnico. Essi sono spesso usati a soffitto in locali ad uso terziario, consentendo elevata flessibilità nello sfruttamento del vano tecnico sovrastante, per esempio per alloggiarvi il sistema di distribuzione dell'aria primaria o per il passaggio di cavi e l'installazione di corpi illuminanti;
- pannelli radianti ad attivazione termica della massa – Essi saranno trattati successivamente, di conseguenza ne viene qui dato solo breve cenno. In pratica, nei sistemi ad attivazione termica della massa, successivamente abbreviati attraverso l'acronimo TABS (Thermally Active Building Systems), il circuito radiante viene integrato nella struttura portante di sistemi edilizi in calcestruzzo armato, come illustrato in Figura 2e. In tal modo il circuito è annegato in un ampio volume di materiale a elevate conduttività e inerzia termica, che consentono di disaccoppiare il funzionamento del sistema di produzione e distribuzione dell'energia termica/frigorifera dall'effettivo profilo di sollecitazione termica dell'ambiente confinato, con vantaggi e svantaggi che verranno chiariti nel paragrafo dedicato. Tali sistemi si stanno diffondendo in Europa, mentre in Italia le relative applicazioni sono ancora poco numerose.

I pannelli radianti sono caratterizzati dalle seguenti peculiarità:

- basso consumo energetico. Ciò deriva da due contributi.

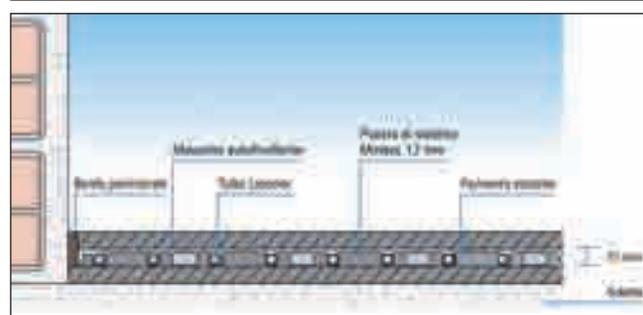
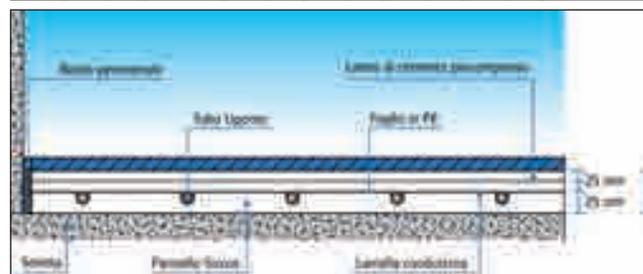
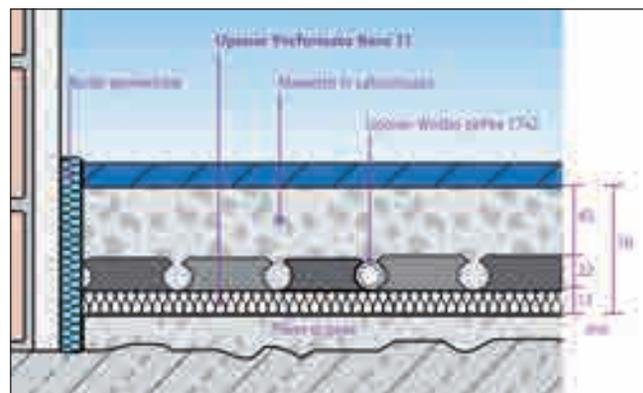


Figure 2a, 2b, 2c, 2d, 2e. Illustrazioni esemplificative dei principali sistemi radianti (immagini tratte dai cataloghi tecnici UPONOR): pannelli radianti a pavimento tradizionali (a), pannelli radianti a secco per pavimenti (b), pannelli radianti sottili per pavimenti e pareti (c), pannelli radianti prefabbricati (d) e TABS (e).

A&RT

- Innanzitutto, le favorevoli temperature d'adduzione dell'acqua consentono di ottenere rendimenti di produzione, distribuzione ed emissione assai favorevoli, specialmente quando i terminali sono alimentati da pompe di calore o caldaie a condensazione. Un altro motivo di diminuzione dei consumi risiede nella maggiore temperatura operante assicurata dai pannelli radianti rispetto ai terminali principalmente convettivi (radiatori, fancoil...), a parità di temperatura dell'aria. Le strutture edilizie che circoscrivono l'ambiente sono infatti mantenute a temperature più vicine alla temperatura di comfort in seguito allo scambio radiante con la superficie attiva. In tal modo gli occupanti percepiscono la sensazione di un maggior comfort, accettando di conseguenza anche temperature dell'aria relativamente più fredde in inverno e più calde in estate. In tal modo, a parità di sensazione termica globale, diminuiscono le dispersioni per conduzione e per ventilazione;
- possibilità di sfruttare tecnologie basate su serbatoi d'energia rinnovabili, quali, tipicamente, il solare termico e il free cooling geotermico. I sistemi a pannelli radianti, come detto, consentono infatti d'utilizzare acqua a temperatura più vicina alla temperatura di comfort, quindi meno calda in inverno e meno fredda in estate. In tal modo ben s'accoppiano con serbatoi termici rinnovabili, quali il solare termico e la geotermia. Nel primo caso, le basse temperature di adduzione ai terminali radianti consentono d'abbassare la temperatura di set-point nell'accumulo dell'impianto solare eventualmente accoppiato al sistema di produzione dell'energia termica per il riscaldamento. In tal modo si aumentano la resa dei pannelli solari termici e l'estensione del periodo in cui risulta direttamente utilizzabile il contributo solare. Nel secondo caso, nelle mezze stagioni, si consente di raffrescare le strutture bypassando la pompa di calore e scambiando termicamente direttamente con l'acqua che fluisce nelle sonde geotermiche. In tal modo si riesce a provvedere una sufficiente potenza di raffrescamento utilizzando la sola energia consumata dal circolatore;
 - elevato livello di benessere. I sistemi radianti offrono la sensazione di un comfort avvolgente, dovuto alla temperatura media radiante più gradevole che nel caso di terminali d'impianto convettivi. Inoltre, la minor temperatura dell'aria consentita in inverno e la minore entità delle correnti d'aria originate all'interno del locale migliorano la qualità globale dell'aria respirata;
 - limitazione alle potenze massime di riscaldamento/raffrescamento. Le superfici radianti non possono oltrepassare determinati limiti di temperatura, successivamente illustrati, al fine di garantire i corretti livelli di comfort e funzionalità all'interno dell'ambiente riscaldato/raffrescato. Di conseguenza risultano limitate anche le potenze termiche scambiabili dalla superficie

attiva. I pannelli radianti non si propongono dunque come terminali d'impianto massivi, cioè destinati al recapito di elevate potenze specifiche termiche/frigorifere;

- rilevante tempo di risposta nella regolazione. I sistemi a pannelli radianti a pavimento tradizionali sono caratterizzati da sensibile inerzia termica e quindi da lunghi tempi di risposta che ne rendono consigliabile l'applicazione in ambienti contraddistinti da una lenta o prevedibile variazione dei carichi termici. Dunque tali sistemi talvolta non sono indicati per locali caratterizzati da carichi termici rapidamente variabili, come per esempio avviene in locali a uso intenso e saltuario;
- mancata deumidificazione dell'aria. Tali sistemi non sono in grado di provvedere alla deumidificazione dell'aria, che si rende per di più necessaria al fine di garantire un corretto funzionamento del sistema a pannelli radianti nel corso della stagione estiva, evitando l'insorgere di fenomeni di condensa superficiale sulle strutture attive. Spesso, dunque, il ricorso a pannelli radianti non può prescindere dalla presenza di un impianto di ventilazione ad aria primaria.

2. Limiti operativi

I pannelli radianti possono essere usati sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, con l'accortezza di rispettarne i limiti operativi. Tali limiti sono stabiliti in riferimento alla temperatura superficiale dell'elemento edilizio attivo e dipendono fortemente dalla giacitura dell'elemento stesso. Vengono quindi di seguito brevemente presentati i principali limiti operativi.

Pavimenti radianti:

- fase di riscaldamento. La temperatura massima viene fissata a seguito di considerazioni fisiologiche e inerenti al comfort. In breve, al fine d'evitare situazioni di discomfort, si fissa in 29°C la temperatura massima tollerabile sulla superficie del pavimento. A tale limite si può derogare solo nel caso di aree periferiche, poste cioè in corrispondenza di superfici esterne, o presso locali destinati a breve occupazione, consentendo temperature massime pari a 35°C. Si può inoltre giungere a 33°C di temperatura limite massima anche nel caso di locali presso i quali può avvenire occupazione a piedi nudi, quindi tipicamente nei bagni;
- fase di raffrescamento. Per la temperatura minima sussiste un doppio limite:
 - 19°C, per motivi di comfort, al fine di evitare discomfort dovuto al freddo localizzato presso i piedi;
 - temperatura di rugiada del locale, per evitare fenomeni di condensa superficiale sulla struttura attiva. Considerate le eventuali conseguenze del mancato rispetto di tale temperatura limite, risulta evidente come i sistemi di gestione si sian dovuti evolvere

velocemente, mirando a una gestione ottimizzata della temperatura di mandata agli impianti radianti in fase estiva e indirizzata ad evitare di tale fenomeno.

Ovviamente la temperatura limite corrisponderà alla più alta tra le due nello specifico contesto applicativo.

Pareti radianti:

- fase di riscaldamento. Per questa giacitura, nel periodo invernale, la limitazione di temperatura è dovuta a motivi di discomfort, come nel caso di pavimenti caldi. Considerata comunque la minor criticità e durata d'un eventuale contatto con la parete calda, si ammettono temperature massime decisamente superiori rispetto al caso di pavimento caldo, generalmente attorno ai 40°C, pari alla temperatura di discomfort per brevi periodi di contatto;
- fase di raffrescamento. In tale fase l'azione delle pareti radianti viene limitata attraverso l'imposizione dei due limiti (come per il caso di pavimenti radianti, il limite da rispettare sarà il più alto tra i due):
 - temperatura di downdraft. Essa corrisponde alla temperatura della parete radiante in grado di innescare una significativa cella convettiva in cui l'aria del locale, passando per la superficie radiante, fredda, tende a ricadere velocemente verso il pavimento, determinando condizioni di discomfort presso gli occupanti più vicini alla parete radiante stessa. Tale temperatura viene determinata attraverso diagrammi empirici di cui offriamo un esempio in Figura 3, dove viene espressa la velocità massima dell'aria percepita da un occupante posto a 0.5 m dalla parete fredda in funzione dell'altezza della parete fredda stessa e della differenza di temperatura tra ambiente interno e parete fredda.
 - temperatura di rugiada del locale, per evitare fenomeni di condensa superficiale sulla struttura attiva, così come già visto nel caso di pavimenti radianti.

Soffitti radianti:

- fase di riscaldamento. La temperatura massima in questo caso viene ancora limitata per motivi di discomfort, questa volta non a seguito di contatto ma per effetto radiante. In tale ambito si fa riferimento al fenomeno dell'asimmetria radiante. In breve, da analisi in camera climatica, si è evinto che le persone provano senso di disagio nel caso in cui una superficie del locale sia a temperatura sensibilmente diversa dalle altre superfici interne, come testimoniato dal seguente diagramma, in cui vengono rappresentate le percentuali d'insoddisfatti in base all'asimmetria radiante.
- in particolare risulta evidente come la probabilità di occupanti insoddisfatti aumenti velocemente nel caso di asimmetria radiante da soffitto caldo. Il diagramma sopra presentato, una volta definita la massima percentuale d'insoddisfatti tollerata nel locale, consente di definire la massima asimmetria radiante consentita al pannello a soffitto e da qui la sua massima temperatura,

tenendo conto del fattore di vista di detta superficie rispetto agli occupanti.

- fase di raffrescamento. In tali condizioni operative, considerando la scarsa probabilità d'un contatto con la superficie attiva e il minor livello di discomfort provocato dall'asimmetria radiante determinata da un soffitto freddo, viene a individuarsi il solo limite finalizzato all'evitamento di fenomeni di condensa superficiale, già trattato nel caso di pavimenti e pareti in fase di raffrescamento.

I limiti operativi sopra descritti hanno evidenti implicazioni progettuali in quanto fissano le massime differenze di temperatura tra superficie attiva e ambiente interno con cui l'elemento attivo può trovarsi a operare e di qui le massime potenze specifiche esprimibili. A tal proposito

Figura 3. Velocità massima dell'aria percepita a 0.5 m dalla parete fredda.

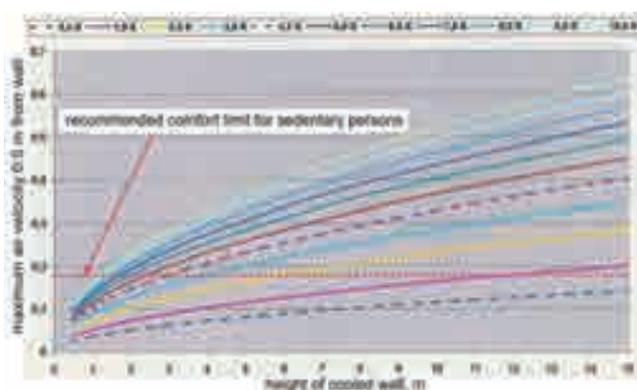


Figura 4. Percentuale d'insoddisfatti dovuta ad asimmetria radiante

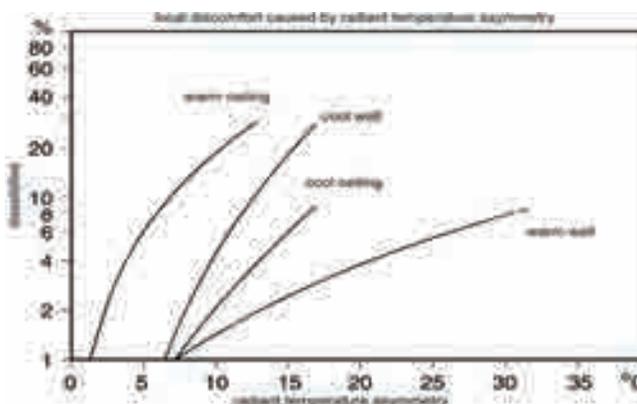


Tabella 1. Coefficienti globali di scambio, temperature limite superficiali e potenze massime specifiche esprimibili dai sistemi a pannelli radianti.

		h_g [W/(m ² ·K)]	T_s [°C]	T_a [°C]	P_{max} [W/m ²]
Pavimento	Risc.	10.8	29	20	99
	Raffr.	7.0	19	26	-49
Parete	Risc.	8.0	35	20	120
	Raffr.	8.0	19	26	-56
Soffitto	Risc.	6.0	32	20	72
	Raffr.	10.8	19	26	-77

A&RT

nel seguito si svolge una breve digressione intesa a individuare le massime potenze specifiche esprimibili dalle diverse superfici attive in riscaldamento e in raffrescamento a seguito dell'ottemperanza ai limiti operativi sopra illustrati.

Il flusso termico inizia dai tubi, attivato dal flusso d'acqua che avviene all'interno degli stessi. L'onda termica si propaga per conduzione attraverso gli strati componenti la struttura edilizia. Quando l'onda termica determina una temperatura della superficie radiante sensibilmente diversa dalle temperature dell'aria e delle restanti superfici interne, inizia l'effettivo riscaldamento/raffrescamento. Lo scambio termico tra la superficie attiva e l'ambiente interno avviene attraverso due fenomeni:

- scambio per convezione tra la superficie attiva e l'aria interna, che diviene dunque la temperatura di riferimento per lo scambio termico convettivo (T_a).
- scambio per irraggiamento tra la superficie attiva e le restanti superfici che circoscrivono il locale, la cui temperatura media diviene temperatura di riferimento per lo scambio termico radiante (T_r).

In realtà, dal momento che le due temperature sono relativamente vicine, si utilizza generalmente il valore della temperatura operante quale temperatura di riferimento per la combinazione di entrambi i fenomeni di scambio termico, che evolvono in parallelo. La temperatura operante può essere definita come la temperatura media tra temperatura dell'aria e temperatura media radiante e a essa riferiremo gli scambi termici operati dalla superficie attiva nei confronti del locale riscaldato/raffrescato:

$$T_o = 0.5 \cdot (T_a + T_r)$$

Dunque, una volta fissate la temperatura operante del locale e la temperatura media superficiale dell'elemento edilizio radiante, il flusso specifico di calore scambiato può essere calcolato attraverso la seguente equazione:

$$q = h_t \cdot (T_s - T_o)$$

dove:

h_t : coefficiente globale di scambio termico (convezione + irraggiamento), dipendente dalla giacitura dell'elemento edilizio e dalla modalità operativa (riscaldamento o raffrescamento), secondo la Tabella 1

T_s : temperatura media superficiale dell'elemento edilizio radiante

T_o : temperatura operante del locale

Di conseguenza s'ottengono le capacità specifiche di riscaldamento/raffrescamento semplificate in Tabella 1.

3. I sistemi radianti ad attivazione termica della massa (TABS)

I TABS (Thermally Active Building Systems, sistemi ad attivazione termica della massa) consistono in sistemi radianti annegati nella struttura portante dell'edificio, anziché in elementi superficiali o di ripartizione del carico statico.

I tubi sono quindi a diretto contatto con una massa termica sensibilmente superiore rispetto ai tradizionali sistemi radianti (circa 20 cm di calcestruzzo armato ad alta densità contro circa 8 cm di calcestruzzo tradizionale), da cui la possibilità di sfruttarne l'elevata inerzia termica. La struttura viene infatti utilizzata per immagazzinare con continuità energia termica/frigorifera che sarà poi utilizzata dalla struttura stessa per attenuare le variazioni di temperatura all'interno dei locali. I TABS si rivelano generalmente vantaggiosi nella fase di raffrescamento, in quanto consentono una serie di vantaggi, sotto elencati, che risultano invece più limitati nella fase di funzionamento invernale:

- l'elevata inerzia termica a diretto contatto con i tubi consente di immagazzinare un'elevata quantità di energia termica/frigorifera, facendo operare le macchine con continuità, limitando gli attacca-stacca e di conseguenza aumentando in modo rilevante il COP (Coefficient of Performance, coefficiente di prestazione) delle pompe di calore e dei refrigeratori. Tale effetto è rilevante in particolare nel funzionamento estivo, data l'elevata sproporzione tra potenza massima di dimensionamento e potenza mediamente richiesta dall'ambiente confinato;
- l'elevato serbatoio termico a disposizione dei tubi consente di differire la produzione di energia termica/frigorifera a periodi più convenienti sul piano dell'efficienza termica, anche se non coincidenti col periodo di occupazione dei locali. Tale opzione risulta particolarmente vantaggiosa nel funzionamento estivo. In tali condizioni è infatti possibile differire alla notte l'attività di produzione dell'energia frigorifera che sarà poi utilizzata dal circuito radiante. In tal modo è possibile attivare il refrigeratore in periodi particolarmente favorevoli sia dal punto di vista energetico (le basse temperature esterne notturne consentono di elevare il COP con cui opera il refrigeratore) che dal punto di vista economico (la notte si possono sfruttare tariffe elettriche più convenienti). Inoltre, l'azione di preraffrescamento della massa termica consente d'utilizzare il medesimo refrigeratore per fornire l'energia frigorifera necessaria a un'eventuale centrale di trattamento dell'aria. Risulta così possibile l'installazione di un refrigeratore di taglia sensibilmente minore rispetto al caso di sistemi tradizionali (~30%);
- la mancata necessità di inseguire i picchi di carico con il

sistema radiante consente di alimentare lo stesso con acqua a temperature vicine alla temperatura dei locali. Di conseguenza il refrigeratore può eventualmente essere regolato per lavorare con temperature di evaporazione relativamente elevate, da cui un ulteriore incremento del COP.

I TABS, a causa dell'elevata inerzia termica a essi connessa, offrono tempi di risposta che ne rendono delicata la regolazione, che spesso fa uso di strategie di previsione meteorologica e termica per definire il livello termico obiettivo per la giornata successiva. Tali sistemi si rendono perciò fruibili soprattutto in edifici in cui i carichi interni costituiscono una consistente parte dei carichi termici estivi e in cui il profilo dei carichi interni stessi risulta sufficientemente prevedibile. Di conseguenza, la climatizzazione di edifici del terziario si propone quale ideale settore applicativo per i TABS.

I TABS, per la propria natura di sistemi annegati nella

struttura edilizia dell'edificio, non possono essere inseriti in interventi di retrofit e necessitano anzi d'essere integrati nella progettazione strutturale sin dalla sua fase preliminare.

Conclusioni

La presente memoria ha avuto quale obiettivo una disamina delle caratteristiche dei pannelli radianti, nonché delle relative applicazioni, peculiarità e limitazioni. I pannelli radianti sono infatti terminali d'impianto capaci di notevoli vantaggi per l'utente finale, ma che devono essere correttamente integrati nella specifica applicazione, al fine di massimizzarne le convenienze funzionale ed energetica. S'è infine presentata la tecnologia dei pannelli radianti ad attivazione termica della massa, attualmente ancora poco diffusa in Italia, ma in rapida espansione nell'Europa centrale, soprattutto ad opera dei rilevanti vantaggi conseguibili nella climatizzazione di edifici del terziario.

Le prestazioni delle pompe di calore

The heat pumps performances

MICHELE VIO

Michele Vio, ingegnere meccanico, progettista di impianti. Presidente dell'Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione
michelevio@aicarr.org

Il testo spiega sinteticamente cosa siano le pompe di calore a compressione, quelle ad assorbimento ed i sistemi *Total Energy* e quali siano le implicazioni energetiche, ambientali ed economiche del loro utilizzo.

Vengono descritte anche le sorgenti termiche utilizzabili ed i criteri di scelta delle pompe di calore. Infatti, quasi mai una pompa di calore con ottime prestazioni nel funzionamento invernale è anche la migliore nel funzionamento estivo: bisogna selezionare di volta in volta il modello più opportuno.

The text briefly treats compression heat pumps, absorption heat pumps and Total Energy systems, and the energy, environmental and economic implications of their use.

The thermal sources that can be used and the selection criteria of an heat pump are also described. In fact, almost never an heat pump with excellent performance in heating mode is also optimized for the cooling mode: each time the most appropriate model has to be selected.

1. Le pompe di calore

1.1. Generalità

La pompa di calore è una macchina a ciclo inverso e, come tale, permette di trasferire energia termica da una sorgente a temperatura più fredda ad una a temperatura più calda, invertendo lo scambio naturale, così come mostrato in Figura 1.

L'esempio più banale, sotto gli occhi di tutti ogni giorno, è il frigorifero domestico: dal vano alimenti viene trasferito del calore all'ambiente della cucina. Il vano alimenti è la sorgente fredda del frigorifero domestico e la cucina la sorgente calda. Perché ciò accada, è necessario fornire energia al sistema. L'energia fornita può essere meccanica (macchine a compressione) oppure termica (macchine ad assorbimento).

Le pompe di calore a compressione possono essere alimentate o con energia elettrica oppure con combustibile (ad esempio metano) bruciato in un motore che produce energia meccanica o energia elettrica (se accoppiato con un alternatore). In questo secondo caso è possibile recuperare anche l'energia termica del raffreddamento del motore e quella dei fumi di scarico. Questi sistemi prendono il nome di *Total Energy*.

La differenza tra frigorifero e pompa di calore non è di natura termodinamica, ma dipende solamente dal punto di osservazione. Se si osserva il sistema dal punto di vista della sorgente fredda, si vede un frigorifero, mentre se lo si osserva dal punto di vista della sorgente calda, si vede una pompa di calore. Questo vale per qualunque macchina: il frigorifero domestico è tale se osservato dall'interno del vano alimenti, mentre diventa una pompa di calore se lo si osserva dal lato posteriore dove c'è il serpentino e

cede calore all'ambiente. In modo banale si può affermare che la bottiglia di latte contenuta nel vano alimenti vede il frigorifero domestico con un refrigeratore, mentre la mosca, che in autunno va a cercare un po' di tepore appoggiandosi sul serpentino posteriore, vede il frigorifero domestico come una pompa di calore.

2. Tipologie di pompe di calore

Vi sono due tipologie principali di pompe di calore: quelle con ciclo frigorifero a compressione e quelle con ciclo frigorifero ad assorbimento. Le prime possono essere alimentate direttamente dalla rete elettrica, oppure da sistemi con motori cogenerativi, prendendo il nome di sistemi *Total Energy*.

2.1. Pompe di calore a compressione

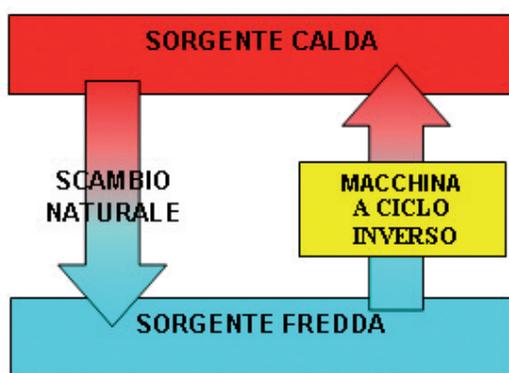
La Figura 2 mostra il ciclo frigorifero nella sua conformazione di base, caratterizzato da quattro elementi fondamentali:

- 1) il compressore;
- 2) il condensatore, ovvero lo scambiatore di calore tra il fluido refrigerante e la sorgente calda;
- 3) l'organo di laminazione, che nelle macchine frigorifere per la climatizzazione è quasi sempre costituito da una valvola termostatica;
- 4) l'evaporatore, ovvero lo scambiatore di calore tra la sorgente il fluido refrigerante e la sorgente fredda.

Nell'evaporatore il fluido refrigerante ha una temperatura inferiore a quella della sorgente fredda per cui si ha un trasferimento naturale di calore dalla seconda al primo. Viceversa nel condensatore il fluido refrigerante si trova ad una temperatura superiore a quella della sorgente calda alla quale cede calore.

Il trasferimento di calore dalla sorgente fredda a quella calda avviene, quindi, attraverso due scambi naturali: il primo nell'evaporatore, dalla sorgente fredda al refrigerante ed il secondo nel condensatore, dal refrigerante alla sorgente calda. Compressore ed organo di laminazione hanno lo scopo di portare il refrigerante nelle condizioni richieste per consentire i due scambi di calore.

Figura 1. Flusso dello scambio termico.



Come intuibile dal nome degli scambiatori, il trasferimento di calore avviene attraverso un cambiamento di fase del refrigerante che passa dalla fase vapore alla fase liquida nel condensatore e dalla fase liquida alla fase vapore nell'evaporatore. Ovviamente questi cambiamenti di fase devono avvenire a temperature diverse, più elevata al condensatore, più bassa all'evaporatore. Ad esempio, in un refrigeratore condensato ad aria, che produca acqua a 7°C con aria esterna a 35°C, la temperatura di cambiamento di fase all'interno del condensatore (temperatura di condensazione) è di 50°C e la temperatura di cambiamento di fase all'interno dell'evaporatore (temperatura di evaporazione) è di 2°C.

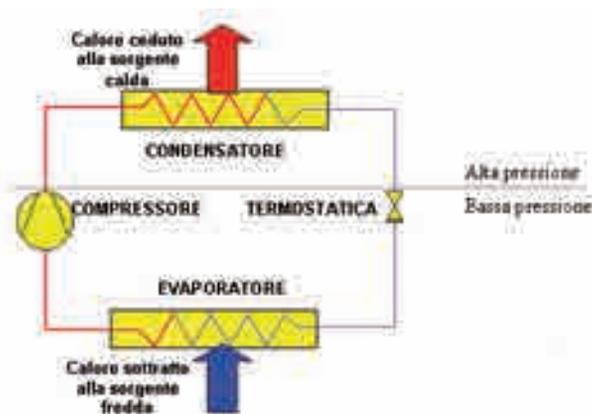
La banale esperienza quotidiana permette di comprendere come sia possibile che un fluido possa cambiare di stato a temperature diverse. L'acqua evapora a 100°C solamente se si trova alla pressione atmosferica. Se la pressione è inferiore evapora a temperatura inferiore: infatti, la pasta non cuoce bene in alta montagna perché la temperatura massima raggiunta dall'acqua è inferiore a quella a livello del mare. Viceversa, se la pressione è superiore a quella atmosferica, l'evaporazione avviene a temperatura maggiore. Su questo principio si basa la pentola a pressione: cuoce più in fretta perché la temperatura raggiunta dall'acqua è superiore ai 100°C.

Il ciclo frigorifero funziona perché il refrigerante si trova a due pressioni diverse nel condensatore (più alta) e nell'evaporatore (più bassa): quali siano questi valori, dipende dal tipo di refrigerante.

Da qui si comprendono chiaramente gli scopi del compressore e dell'organo di laminazione: il primo ha il compito di innalzare la pressione del refrigerante dal valore di evaporazione a quello di condensazione, il secondo ha la funzione contraria. In pratica, dal punto di vista delle pressioni, il circuito è diviso in due parti: a valle del compressore fino a monte della valvola termostatica il circuito si trova in alta pressione, a valle della valvole termostatica fino a monte del compressore si trova in bassa pressione (Figura 2).

Ricapitolando, è possibile un passaggio di calore dalla

Figura 2. Circuito frigorifero a compressione.



A&RT

sorgente fredda, a temperatura inferiore, alla sorgente calda, a temperatura superiore, solamente fornendo al sistema l'energia necessaria per comprimere il refrigerante dalla pressione di evaporazione a quella di condensazione. Il compressore si comporta come un ascensore: maggiore è il numero di piani che deve fare, maggiore è l'energia consumata.

2.2. Sistemi *Total Energy*

Si può definire *Total Energy* un sistema che autoproduca direttamente in loco l'energia per azionare il compressore di una macchina a ciclo inverso e, contemporaneamente recuperi l'energia termica di scarto per utilizzarla nell'impianto di climatizzazione, sia direttamente, sia trasformata in energia frigorifera, mediante un ciclo ad assorbimento. Secondo tale definizione, un sistema *Total Energy* è formato da un motore termico che genera energia meccanica da fornire direttamente all'albero del compressore, oppure energia elettrica tramite un alternatore, da un ciclo frigorifero a compressione, da un apparato di recupero dell'energia termica di scarto ed eventualmente da un ciclo frigorifero ad assorbimento.

Rimandando per approfondimenti ai lavori citati in bibliografia (Vio 2009), qui interessa solamente capire la configurazione di un sistema *Total Energy* per poter effettuare i bilanci energetici. La configurazione più semplice quella in cui il compressore è accoppiato direttamente all'albero di un motore, come mostrato in Figura 3.

In questa configurazione, alla sorgente calda viene ceduto anche il calore di raffreddamento del motore e quello recuperato dai fumi di scarico, oltre al calore prodotto dalla condensazione del ciclo frigorifero a compressione. L'energia ceduta al compressore è uguale all'energia primaria bruciata come combustibile per il rendimento meccanico del motore, mentre l'energia termica ceduta dal raffreddamento del motore è uguale all'energia bruciata come combustibile per il rendimento termico del motore. In alternativa all'accoppiamento diretto, si può utilizzare un generatore elettrico, composto da un motore collegato a un alternatore che alimenta il compressore del ciclo frigorifero. In questo caso il sistema *Total Energy* si definisce ibrido.

La configurazione più complessa, tipica di un sistema di trigenerazione, è mostrata in Figura 4: il calore di raffreddamento del motore alimenta una pompa di calore ad assorbimento. In questo modo il calore ceduto alla sorgente calda aumenta perché si sfrutta anche l'effetto della pompa di calore ad assorbimento (vedi Paragrafo 2.3).

2.3. Pompe di calore ad assorbimento

Le pompe di calore ad assorbimento vengono trattate dettagliatamente ad esempio in (Lazzarin 2010). Qui se ne dà solo una rapida descrizione.

Una macchina ad assorbimento è molto più simile ad una

macchina a compressione di quanto non si pensi. Al suo interno si ritrovano sempre quattro componenti principali (Figura 5): evaporatore e condensatore hanno analoga posizione e scopo, e sono ancora posti a contatto con le due sorgenti, fredda e calda, alle quali rispettivamente sottraggono e cedono il calore, grazie al cambiamento di fase del refrigerante che avviene al loro interno.

Il compressore è sostituito da un organo denominato generatore, che si trova direttamente a contatto con la fonte di energia termica. La valvola termostatica è sostituita da un organo denominato assorbitore.

All'interno del circuito vi è una miscela di due componenti, uno con funzione di refrigerante e l'altro con funzione di assorbente. Nel generatore viene fornita energia termica alla miscela, per cui il refrigerante evapora e si separa dal fluido assorbente, torna liquido all'interno del condensatore per poi evaporare nuovamente a bassa pressione nell'evaporatore. L'assorbente, invece, passa dal generatore all'assorbitore, dove si rimischia con il refrigerante in fase vapore, mantenendo così bassa la pressione all'interno dell'evaporatore.

Il circuito frigorifero è diviso in due parti distinte, una ad alta pressione, contenente il generatore e il condensatore, ed una a bassa pressione, contenente l'evaporatore e l'assorbitore.

Esistono varie tipologie di gruppi frigoriferi ad assorbimento. Una divisione può essere effettuata sulla base della fonte di energia termica ed un'altra sulla base della soluzione contenuta all'interno del circuito frigorifero.

L'energia termica può essere fornita:

- da una fiamma diretta, bruciando direttamente combustibile nel generatore;
 - da vapore;
 - da acqua calda, purché a temperatura superiore a 75°C.
- Sono molte le soluzioni che, in linea teorica, possono essere utilizzate, ma praticamente se ne usano solo due:
- acqua-bromuro di litio;
 - ammoniac-acqua.

Delle due sostanze che formano la miscela, una svolge la funzione di refrigerante, mentre l'altra svolge la funzione di assorbente. Nella fattispecie, nel ciclo acqua-bromuro di litio è l'acqua a fungere da refrigerante e il bromuro di litio da assorbente, mentre nel ciclo ammoniac-acqua l'ammoniac è il refrigerante e l'acqua è l'assorbente.

I limiti di funzionamento sono diversi: con la miscela acqua-bromuro di litio, la temperatura della sorgente fredda deve essere superiore a 0°C e quella della sorgente calda inferiore a 38°C. Con la miscela ammoniac-acqua, la temperatura della sorgente fredda può raggiungere -20°C, mentre quella della sorgente calda può raggiungere 70°C. Di conseguenza, con la miscela acqua-bromuro di litio si possono costruire solamente macchine acqua-acqua, mentre con la miscela ammoniac-acqua si possono costruire anche macchine aria-acqua ad inversione di ciclo.

Le macchine a acqua-bromuro di litio possono lavorare in pompa di calore grazie a un'inversione sull'impianto: trattandosi di macchine condensate ad acqua, valgono gli stessi schemi adottati per i gruppi frigoriferi a compressione. Il loro unico limite è quello di poter produrre acqua a temperatura non superiore ai 35°C in funzionamento invernale in pompa di calore.

Le macchine ammoniac-acqua possono lavorare anche ad inversione sul ciclo frigorifero e non solo ad inversione sul circuito idraulico, perché possono utilizzare anche l'aria come sorgente termica. Il vantaggio è che riescono a produrre acqua a 70°C con valore di efficienza sufficientemente elevata anche con temperatura dell'aria esterna molto bassa (-20°C).

3. Aspetti energetici, ambientali ed economici

Qualunque sia la tipologia di pompa di calore, il bilancio energetico può essere scritto secondo quanto mostrato in Figura 6.

Un sistema a pompa di calore è sempre caratterizzato dall'energia sottratta alla sorgente fredda E_F , dall'energia fornita al sistema E_S e dall'energia ceduta alla sorgente calda E_C , che a sua volta è la somma delle due energie precedenti, secondo l'equazione:

$$(1) \quad E_C = E_F + E_S$$

3.1. Efficienza energetica estiva e invernale

Partendo dalla (1) e accettando le definizioni introdotte da Eurovent per gli indici energetici, EER nel funzionamento estivo e COP nel funzionamento invernale, l'efficienza del sistema può essere definita dalle equazioni:

$$(2) \quad EER = \frac{E_c}{E_s} \quad COP = \frac{E_c}{E_s} = \frac{E_c + E_s}{E_s} = EER + 1$$

3.1.1. Pompe di calore a compressione

Per le pompe di calore a compressione l'energia fornita al sistema è sempre energia elettrica, EER e COP sono rapporti di energia termica su elettrica. I valori possono variare da 2 a 8 a seconda dei parametri che li influenzano.

3.1.2. Pompe di calore ad assorbimento

Per le pompe di calore ad assorbimento l'energia fornita al sistema è energia termica, per cui i rapporti definiti dalle sono sempre dati dal rapporto tra energie termiche. Per questo motivo, apparentemente i valori di EER e COP delle pompe di calore ad assorbimento sembrano nettamente inferiori rispetto a quelli delle pompe di calore a compressione, ma così non è, perché si deve ragionare in termini di energia primaria, come mostrato nel successivo Paragrafo 3.2.

Nel funzionamento estivo, per le macchine ad acqua-bromuro

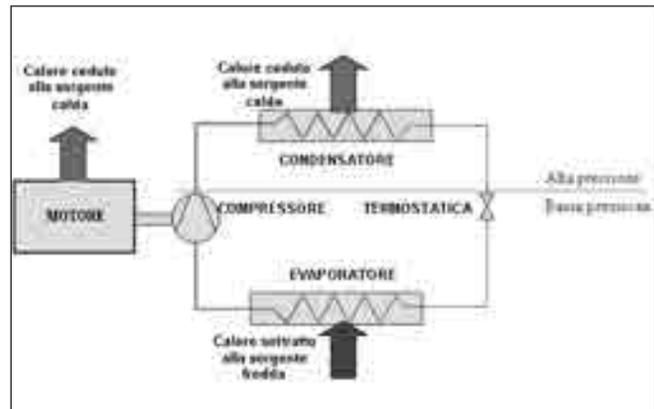


Figura 3. Sistema Total Energy nella configurazione più semplice.

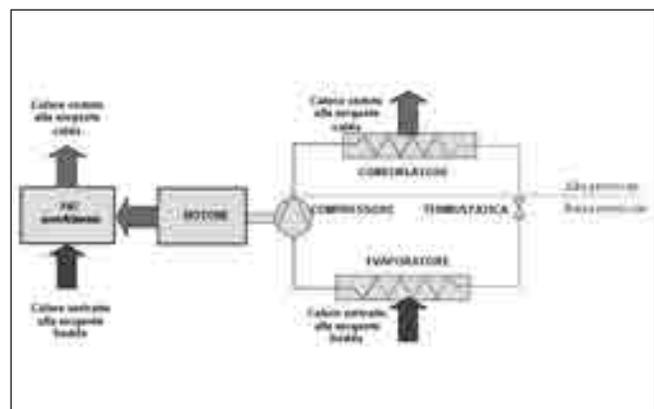


Figura 4. Sistema Total Energy nella configurazione più complessa (sistema di trigenerazione).

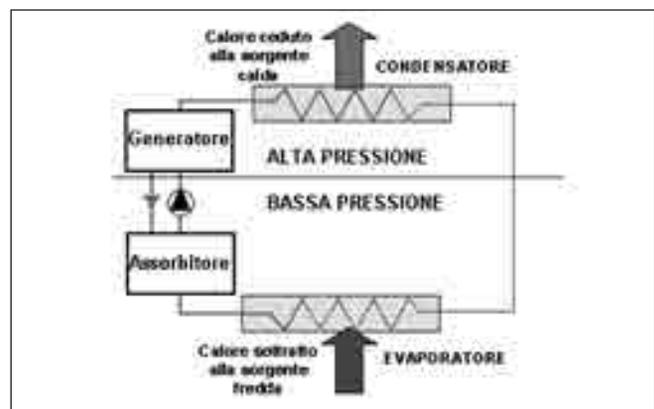


Figura 5. Ciclo frigorifero ad assorbimento.

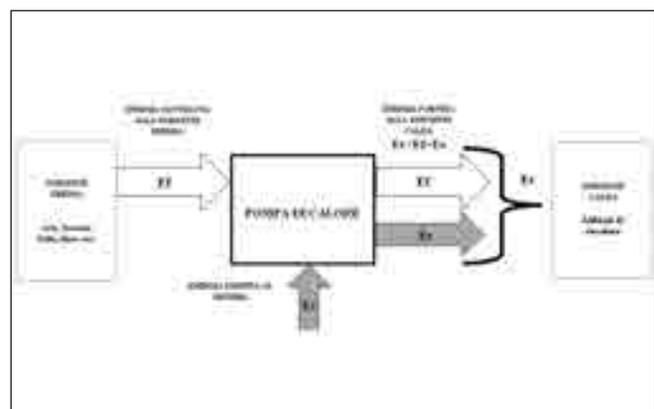


Figura 6. Bilancio energetico di un sistema a pompa di calore.

A&RT

di litio a singolo effetto il valore di EER è circa 0,7, mentre per quelle a doppio effetto il valore di EER varia da 1 a 1,1. Per le macchine ad ammoniaci-acqua il valore di EER è circa 0,7.

Nel funzionamento invernale, le macchine ad acqua-bromuro di litio a singolo effetto raggiungono $COP = 1,7$, mentre quelle a doppio effetto raggiungono il valore di $COP = 2$. Le macchine ammoniaci-acqua hanno COP variabili da 1,2 a 1,8 a seconda delle condizioni di funzionamento, in particolare della temperatura dell'aria esterna, se usano questa come sorgente termica. Ragionando solamente sui valori di efficienza, sembra che le macchine ad ammoniaci-acqua abbiano prestazioni inferiori a quelle ad acqua-bromuro di litio. Nella realtà non è così, perché bisogna considerare che la temperatura raggiunta da una pompa di calore ad assorbimento ammoniaci-acqua è nettamente superiore, $70^{\circ}C$ contro i $35^{\circ}C$ di quella acqua-bromuro di litio. Inoltre, le macchine ad ammoniaci-acqua possono funzionare anche con aria esterna come sorgente termica e quindi le loro possibilità di applicazione sono ampliate a dismisura.

3.1.3. Sistemi *Total Energy*

I sistemi *Total Energy* utilizzano un ciclo frigorifero a compressione. Per la configurazione di Figura 3, l'energia trasferita dal ciclo frigorifero a compressione è uguale al prodotto dell'energia prodotta dalla combustione per l'indice energetico (EER_{CF} o COP_{CF}) per il rendimento meccanico del motore η_M e per il rendimento elettrico dell'alternatore η_A (nel caso di accoppiamento diretto $\eta_A = 1$), mentre l'energia termica ceduta alla sorgente calda è uguale al prodotto dell'energia prodotta dalla combustione per il rendimento termico del motore η_T . Le (2) diventano:

$$(3) \quad \begin{aligned} EER &= \eta_M \eta_A EER_{CF} \\ COP &= \eta_M \eta_A COP_{CF} + \eta_T \end{aligned}$$

Per i sistemi *Total Energy* in configurazione di Figura 4, l'energia trasferita dal ciclo frigorifero a compressione è uguale al prodotto dell'energia prodotta dalla combustione per l'indice energetico (EER_{CF} o COP_{CF}) per il rendimento meccanico del motore η_M e per il rendimento elettrico dell'alternatore η_A (nel caso di accoppiamento diretto $\eta_A = 1$), mentre l'energia trasferita dal ciclo ad assorbimento è uguale al prodotto del suo indice energetico (EER_{AS} o COP_{AS}) per prodotta dalla combustione e per il rendimento termico del motore η_T . Le (2) diventano:

$$(4) \quad \begin{aligned} EER &= \eta_M EER_{CF} + \eta_T EER_{AS} \\ COP &= \eta_M COP_{CF} + \eta_T COP_{AS} \end{aligned}$$

con, sia per le (3) che per le (4):

η_M rendimento meccanico del motore

η_A	rendimento dell'alternatore (uguale a 1 nei sistemi con collegamento diretto tra motore e compressore)
η_T	rendimento termico del motore, ovvero la quota recuperabile dal calore di raffreddamento
EER_{CF}	EER del ciclo a compressione
COP_{CF}	COP del ciclo a compressione
EER_{AS}	EER della macchina ad assorbimento presente in configurazione di Figura 4
COP_{AS}	COP della macchina ad assorbimento presente in configurazione di Figura 4

La Figura 7 mostra l'andamento di EER e COP di un sistema *Total Energy* ad accoppiamento diretto in funzione dell'efficienza del ciclo frigorifero a compressione, nel caso di $\eta_M = 0,33$, $\eta_T = 0,5$, $EER_{AS} = 0,7$, $COP_{AS} = 1,7$.

3.2. Rapporto di energia primaria

I valori di efficienza energetica, così come descritti nel paragrafo precedente, sono disomogenei perché l'energia fornita al sistema è diversa a seconda della tipologia delle pompe di calore. Per le pompe di calore a compressione con compressore elettrico, l'energia fornita al sistema E_S è energia elettrica, mentre per le pompe di calore ad assorbimento e per i sistemi *Total Energy* è sempre energia termica, prodotta da una combustione. Quindi, per le pompe di calore ad assorbimento e per i sistemi *Total Energy* l'energia fornita al sistema E_S corrisponde all'energia primaria E_p .

Per rendere omogenei i valori di efficienza delle pompe di calore con compressore elettrico, bisogna ragionare in termini di energia primaria trasformando l'energia fornita al sistema E_S in energia primaria E_p , come mostrato nella Figura 8. Ovviamente, a parità di energia primaria E_p , l'energia fornita al sistema E_S è tanto maggiore quanto più elevato è il rendimento del sistema elettrico η_{SE} , a sua volta pari al prodotto del rendimento di produzione della centrale elettrica e per il rendimento di distribuzione della rete. Attualmente, in Italia, il rendimento del sistema elettrico è stimato pari al 46%, che andrebbe considerato uguale su tutto il territorio nazionale, mentre l'improvvida scelta di rendere di competenza regionale le problematiche energetiche porta a dover utilizzare valori diversi a seconda delle regioni in cui si opera. Ciò dipende dal fatto che si tiene conto della produzione di energia da fonte rinnovabile su scala regionale, anziché su scala nazionale, perché il rendimento η_{SE} è ovviamente uguale in ciascuna località connessa alla stessa rete.

Si può definire il rapporto di energia primaria REP sia in funzionamento estivo che in funzionamento invernale, con le:

$$(5) \quad \begin{aligned} REP_{ESTIVO} &= \frac{E_C}{E_p} = \eta_M \eta_A \eta_{SE} \\ REP_{INVERNALE} &= \frac{E_C}{E_p} = \eta_M \eta_A \eta_{SE} \end{aligned}$$

Osservando le (5) si comprende immediatamente come per le macchine ad assorbimento il valore del rapporto di energia primaria REP nelle due condizioni di funzionamento corrisponda agli indici di efficienza energetica EER_{AS} e COP_{AS} .

Analogamente, per una caldaia a condensazione il REP corrisponde al rendimento, calcolato sul potere calorifico superiore.

Per le pompe di calore con compressori elettrici e per i sistemi *Total Energy*, il REP è funzione degli indici energetici EER_{CF} e COP_{CF} del ciclo frigorifero a compressione.

La Figura 9 mostra i valori di dei REP dei vari sistemi esaminati, sia nel funzionamento invernale che nel funzionamento estivo.

Nel funzionamento invernale, le pompe di calore ad assorbimento si comportano meglio delle pompe di calore elettriche fino a quando il COP_{CF} del ciclo a compressione non supera 3,5. In assoluto si comportano molto bene i sistemi *Total Energy* sia nella configurazione più semplice di Figura 3, che in quella più complessa di Figura 4. In particolare, quest'ultima ha il REP più elevato in assoluto fintantoché il COP del ciclo a compressione è inferiore a 6,5. Le cose cambiano radicalmente nel funzionamento estivo: le macchine a compressore elettrico hanno valori di REP migliori in assoluto in ogni condizione, mentre le macchine ad assorbimento sono fortemente penalizzate.

3.2. Percentuale di energia rinnovabile

Una percentuale dell'energia prodotta da una pompa di calore proviene da una fonte rinnovabile, sempre nel funzionamento invernale, talvolta nel funzionamento estivo.

3.2.1. Funzionamento invernale

Osservando la Figura 8, si comprende come per tutti i sistemi a pompa di calore l'energia prodotta da fonte rinnovabile è pari alla differenza tra l'energia trasferita alla sorgente calda E_C e l'energia primaria fornita al sistema E_P . Pertanto, la quota parte di energia rinnovabile $E_{Rin\%}$ è uguale a:

$$(6) \quad E_{Rin\%} = \frac{E_P - E_C}{E_C} = \frac{E_C - E_C}{E_C} = 1 - \frac{1}{REP_{INV}}$$

Per le pompe di calore con compressore elettrico, l'energia primaria E_P è maggiore dell'energia elettrica fornita al sistema E_S , perché il rendimento del sistema elettrico η_{SE} di produzione e distribuzione è inferiore a 1 (0,46 per il territorio nazionale). La (6) diventa:

$$(7) \quad E_{Rin\%} = \frac{E_C - E_P}{E_C} = 1 - \frac{E_S}{\eta_{SE} E_C} = 1 - \frac{1}{REP_{INV}}$$

La Figura 10 mostra le percentuali di energia rinnovabile dei vari sistemi esaminati nel funzionamento invernale.

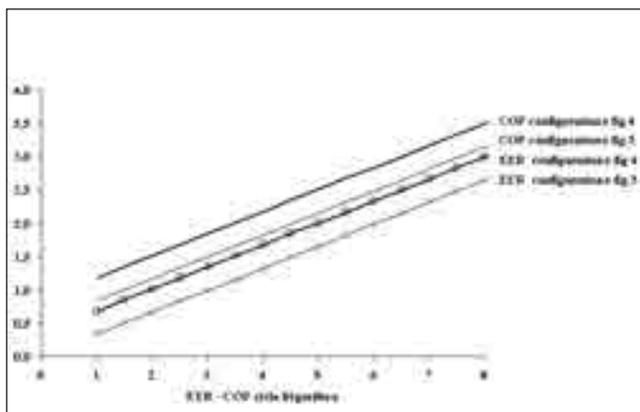


Figura 7. EER e COP dei sistemi *Total Energy*: $\eta_M = 0,33$, $\eta_T=0,5$, $EERAS = 0,7$, $COPAS = 1,7$.

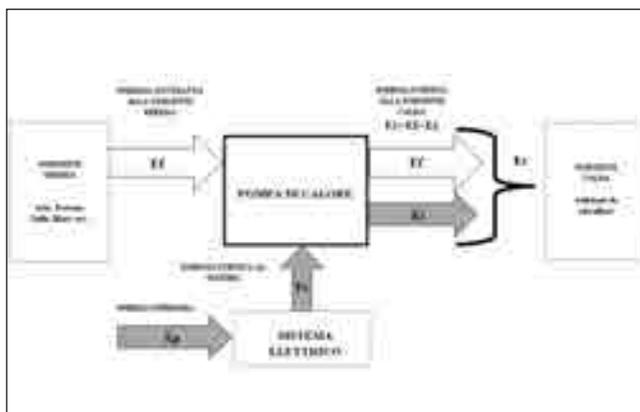


Figura 8. Bilancio energetico di un sistema a pompa di calore in termini di energia primaria.

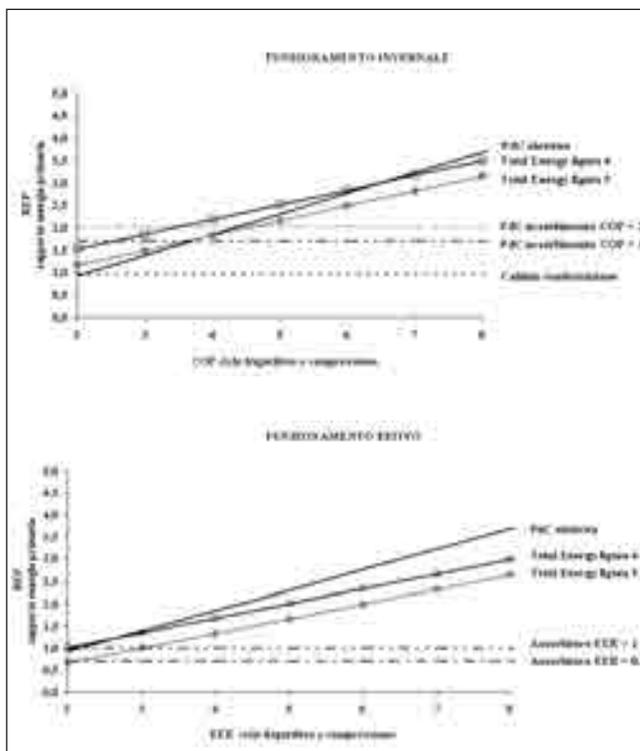


Figura 9. Valori di REP in funzionamento invernale ed estivo per i vari sistemi. Sistemi *Total Energy*: $\eta_M = \eta_M 0,33$, $\eta_T=0,5$, $EERAS = 0,7$, $COPAS = 1,7$.

A&RT

Per le pompe di calore elettriche e per i sistemi *Total Energy* i valori sono funzione del COP del ciclo frigorifero a compressione, mentre per le macchine ad assorbimento sono ovviamente costanti.

La figura 10 conferma quanto affermato nel paragrafo precedente a proposito del REP: la percentuale di energia rinnovabile utilizzata dalle pompe di calore ad assorbimento è più elevata di quella utilizzata dalle pompe di calore elettriche, fino a quando il COP del ciclo frigorifero a compressione è inferiore a 3,5, come accade per basse temperature di evaporazione (basse temperature della sorgente o scambiatori di calore dimensionati con superfici scarse).

I sistemi *Total Energy* nella configurazione di Figura 4 utilizzano le maggiori percentuali di energia rinnovabile fino a quando il COP del ciclo frigorifero a compressione non supera il valore di 6, grazie allo sfruttamento della pompa di calore ad assorbimento alimentata dal calore di recupero del motore.

3.2.2. Funzionamento estivo

Nel funzionamento estivo nessuna delle tipologie di pompa di calore mostrate in precedenza produce parte dell'energia da fonte rinnovabile, a meno che il calore di condensazione non sia recuperato. In questo caso, una parte o tutta l'energia ceduta alla sorgente calda E_C viene utilizzata per produrre calore, ad esempio per l'acqua calda sanitaria o per il circuito di post riscaldamento. Quest'energia è gratuita, perché si tratta di uno scarto termico della produzione di energia per la climatizzazione e, pertanto, è corretto considerarla come energia rinnovabile, esattamente come se fosse prodotta da altri sistemi quali il solare termico.

Per capire quale sia la percentuale di energia rinnovabile utilizzata dal sistema, bisogna definire bene il riferimento. Se ci si riferisce solamente al calore recuperato, la percentuale è molto prossima al 100%. Un esempio è quello di un albergo in estate, dove con il recupero di calore si produce acqua calda, sfruttando la condensazione di un gruppo frigorifero che lavora a servizio della climatizzazione. In questi casi, la prima energia rinnovabile da utilizzare è proprio il recupero di calore, prima ancora di altre fonti gratuite, come il solare termico.

Si è detto che la "percentuale è molto prossima al 100%", perché nella realtà si dovrebbe considerare nel bilancio la differenza di energia fornita al sistema che si avrebbe tra il caso in cui si sfrutti il recupero e quello in cui non si sfrutti. Questa differenza deriva dai diversi valori di temperatura di condensazione nei due casi, con conseguenti diversi EER_{CF} del ciclo frigorifero a compressione. In alcuni casi, sfruttando opportunamente il recupero di calore dal desurriscaldamento e dal sottoraffreddamento del ciclo, i valori di EER_{CF} in recupero di calore potrebbero addirittura aumentare. Per approfondimenti si rimanda ai testi citati in

bibliografia (Vio marzo 2010).

Se, invece, si vuole calcolare la percentuale di energia rinnovabile sulla produzione totale di energia del sistema, si deve utilizzare l'equazione:

$$(8) \quad E_{RNOV} = \frac{E_{REC} - x_{REC} E_C - E_P}{E_P}$$

dove x_{REC} è la quota parte dell'energia utilizzata per il recupero di calore e non dispersa.

La Figura 11 mostra la percentuale di energia rinnovabile per macchine con compressori elettrici in funzione dell'EER del ciclo frigorifero e della quota parte di energia utilizzata per il recupero x_{REC} , sempre utilizzando un rendimento del sistema elettrico pari al 46%. Come si può notare, i valori sono decisamente elevati. Ad esempio, il faticoso 50% di energia prodotta da fonte rinnovabile per l'acqua calda sanitaria, previsto dalla legislazione vigente, si raggiunge già con un EER inferiore a 3,5 nel caso che tutta l'energia di condensazione sia utilizzata per il recupero. Ciò dimostra che, quando si produce del freddo per l'impianto di climatizzazione, la prima fonte di energia rinnovabile è il calore di condensazione.

3.2.3. Pompe di calore alimentate da fonti rinnovabili

Dal punto di vista teorico, le pompe di calore potrebbero essere alimentate direttamente da fonti rinnovabili (Lazzarin marzo 2010). In particolare, le pompe di calore con compressori elettrici potrebbero essere alimentate da energia prodotta con sistemi eolici, fotovoltaici o idroelettrici, mentre le pompe di calore ad assorbimento e i sistemi *Total Energy* potrebbero essere direttamente alimentati dalla combustione di biomasse. Inoltre, le pompe di calore ad assorbimento potrebbero essere direttamente alimentate da cascami di calore di impianti industriali o da sistemi con solare termico, che potrebbero essere impiegati anche con sistemi *Total Energy*, se questi utilizzassero motori esotermici come lo Stirling. In questi casi si dovrebbe considerare una percentuale di produzione da fonte rinnovabile pari al 100%.

Attenzione, però, ai casi di produzione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili, specialmente da fotovoltaico. Il bilancio va fatto su tutta la richiesta di energia elettrica, non solo quella della pompa di calore a compressione. Il fotovoltaico è una coperta corta che deve essere impiegata prima per coprire i consumi con efficienza energetica più bassa (il REP dell'illuminazione e di tutti gli elettrodomestici è uguale al rendimento elettrico della rete η_{SE} , quindi 0,46 in Italia) e poi l'eventuale rimanenza va a coprire i carichi della climatizzazione. Invece, attualmente, troppi (in buona fede o meno) lo presentano come una soluzione globale ad ogni singolo problema, dimenticando gli altri consumi. Solo così si spiegano le follie del "tutto elettrico", compresi i fornelli della cucina e gli improbabili sistemi

radianti elettrici ad alta efficienza (100% ovviamente!) proposti attualmente. Andrebbe sempre ricordato che cucinare un brasato al barolo con un fornello elettrico comporta un REP di 0,46, contro un comodo valore di 0,75 o superiore di un vecchio fornello a gas.

Quando c'è una parte di energia elettrica prodotta con il fotovoltaico (o l'idroelettrico o l'eolico) la percentuale di energia rinnovabile deve essere calcolata sull'intero bilancio secondo l'equazione:

$$(9) E_{Ren\%} = \frac{E_{Ren}}{E_p} = \frac{E_{FT} - E_{FT}}{E_p} = \frac{E_{DM} + E_{RIS} + E_{CON} - E_{FT}}{E_p}$$

con:

- E_{Tot} energia totale richiesta dal sistema
- E_{FT} energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile
- E_p energia primaria
- E_{DME} energia elettrica richiesta dagli usi domestici
- E_{DMG} energia richiesta dagli usi domestici del metano
- E_{RIS} energia termica richiesta dal riscaldamento
- E_{CON} energia termica richiesta dal condizionamento estivo

Nel caso "tutto elettrico" la (9) si può scrivere come:

$$(10) E_{Ren\%} = \frac{E_{Ren}}{E_p} = \eta_{SE} \cdot \frac{E_{DM} + E_{RIS} + E_{CON} - E_{FT}}{E_{DM} + \frac{E_{RIS}}{COP} + \frac{E_{CON}}{EER}}$$

E_{DM} è l'energia elettrica richiesta da tutti gli usi domestici, compresi i fornelli

COP è l'indice energetico stagionale in riscaldamento

EER è l'indice energetico stagionale in condizionamento

η_{SE} è il rendimento di trasformazione e distribuzione

Un esempio aiuta a comprendere meglio il calcolo. Si abbia una abitazione che richieda 3500 kWh elettrici all'anno per gli usi domestici, 8000 kWh termici all'anno per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria e 1500 kWh termici per il condizionamento estivo. Un sistema fotovoltaico fornisce 4500 kWh elettrici all'anno (si trascura il consumo di energia per gli usi di cucina).

Nel caso di un impianto tradizionale con caldaia a condensazione e rendimento medio stagionale pari al 92% (sul potere calorifico superiore), EER dell'impianto di climatizzazione pari a 3, la percentuale della fonte rinnovabile è pari al 48%. Questo valore aumenta fino al 62%, se si usa una pompa di calore elettrica con COP medio pari a 3,5 per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria. Il valore precipita al 33% se si utilizzano sistemi con resistenza elettrica di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria (ad esempio pannelli radianti a pavimento elettrici).

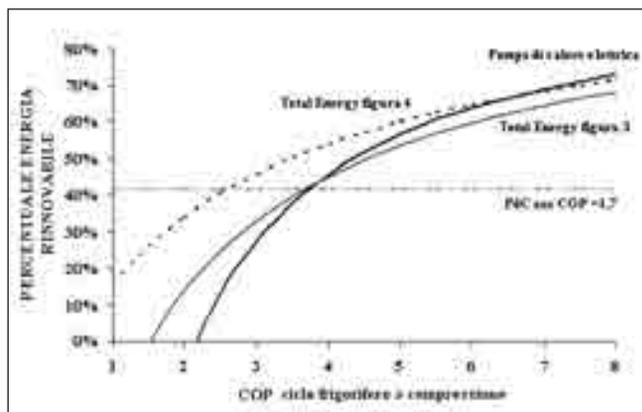


Figura 10. Percentuale di energia rinnovabile in funzionamento invernale per i vari sistemi. Sistemi Total Energy: $\eta_M = 0,33$, $\eta_T = 0,5$, COPAS = 1,7.

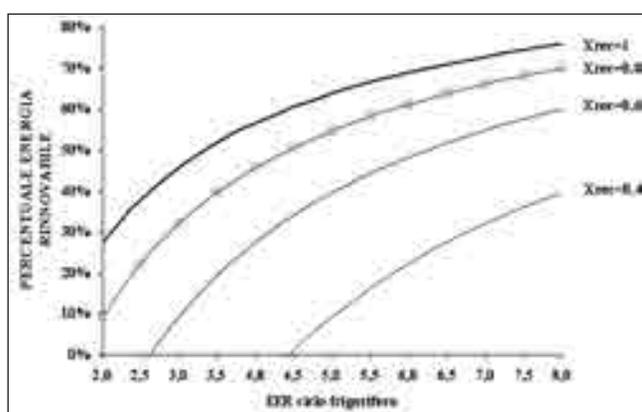


Figura 11. Percentuale di energia rinnovabile in funzionamento estivo: pompe di calore con compressore elettrico.

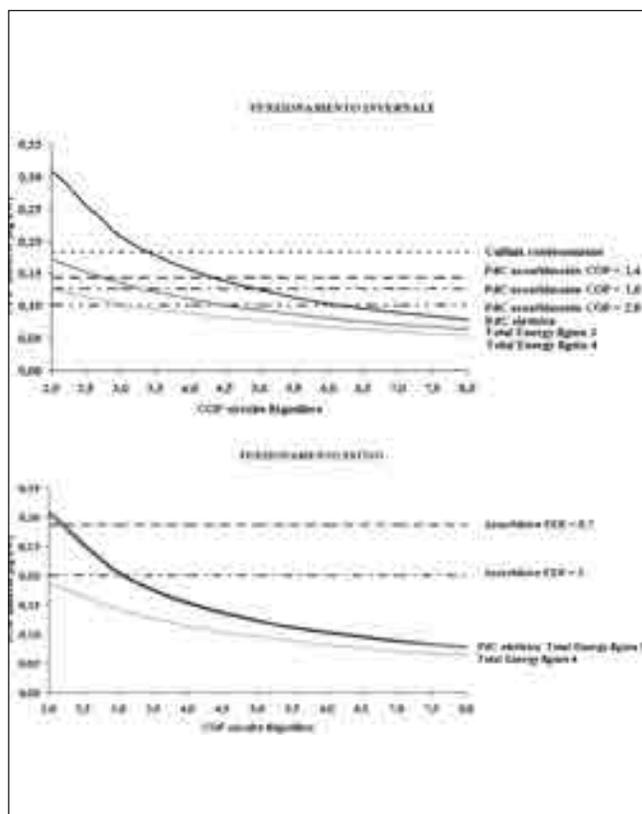


Figura 12. Emissioni di CO₂ per kWh termico prodotto.

A&RT

3.3. Impatto ambientale

Dopo aver quantificato sia l'efficienza energetica, sia la percentuale di energia rinnovabile utilizzata dei sistemi a pompa di calore, rimane da analizzare il loro impatto ambientale, in termini di emissioni di CO₂ per kWh termico prodotto, sia nel funzionamento invernale che in quello estivo.

Ciò significa calcolare l'indice IGW (*Indirect Global Warming*) unitario, calcolato per ogni singolo kWh prodotto. Per le macchine elettriche si ha:

$$(11) \quad IGW_e = \frac{0,62}{COP}$$

dove 0,62 sono i kg di CO₂ emessi per produrre 1 kWh elettrico immesso nella rete nazionale.

Per le macchine alimentate a metano si ha:

$$(12) \quad IGW_U = \frac{2}{REP}$$

dove 2 sono i kg di CO₂ emessi per bruciare 1 m³ di metano.

La Figura 12 mostra i valori di IGW_U nel funzionamento sia invernale che estivo. Nel funzionamento invernale, le pompe di calore ad assorbimento si comportano molto bene, quando le condizioni non sono tali da permettere elevati valori di COP del ciclo frigorifero a compressione. Nel funzionamento estivo, invece, le prestazioni sono deludenti.

I sistemi *Total Energy* nella configurazione di Figura 4 hanno le migliori prestazioni in assoluto in entrambi i regimi di funzionamento.

Ancora una volta l'analisi mostra una discrepanza tra funzionamento estivo e funzionamento invernale, a dimostrazione di come la scelta corretta debba essere fatta in base alla realtà dell'impianto e al peso dell'energia consumata in inverno e in estate.

Va fatta un'ulteriore considerazione: i sistemi *Total Energy* si mostrano superiori agli dal punto di vista delle emissioni di anidride carbonica, a parità di indice energetico del ciclo a compressione. Se, però, si ragiona in termini di impatto ambientale in senso lato, e quindi si considerano anche le emissioni di tutti gli inquinanti dovuti alla combustione, bisogna ricordare che un conto è produrre energia elettrica in grandi centrali decentrate dai centri urbani, dove il controllo dell'inquinamento è continuo, un altro è produrre energia meccanica o energia elettrica con tanti cogeneratori diffusi nell'intero territorio, con controlli meno stretti. Sicuramente passare dalle caldaie alla cogenerazione diffusa sarebbe un grande passo avanti, ma lo Stato dovrebbe fare una valutazione globale di convenienza e cercare di indicare dove, dal punto di vista dell'impatto ambientale, sarebbe meglio utilizzare sistemi elettrici piuttosto che sistemi direttamente alimentati con combustibili fossili.

3.4. Convenienza economica

All'utente finale interessa il risparmio economico, più del risparmio energetico. È fondamentale, allora, analizzare anche la convenienza economica delle varie tipologie di pompa di calore in funzione delle loro prestazioni energetiche e delle tariffe del metano e dell'energia elettrica. Per effettuare un confronto, conviene rifarsi al costo unitario del kWh termico prodotto. Nel caso di alimentazione con combustibile fossile il costo unitario CU_{CF} in €/kWh è dato dalla relazione:

$$(13) \quad CU_{CF} = \frac{C_G}{REP \cdot p_C}$$

con:

C_G costo unitario del combustibile (nel caso del metano €/m³)

REP Rapporto di Energia Primaria del sistema

p_C potere calorifico superiore del combustibile

Il costo unitario dell'energia termica prodotta con l'energia elettrica CU_{EE} attraverso una pompa di calore è dato dalla relazione:

$$(14) \quad CU_{EE} = \frac{C_E}{COP}$$

con:

C_E costo unitario dell'energia elettrica in €/kWh

COP efficienza energetica della pompa di calore elettrica (nel funzionamento estivo si sostituisce con EER)

Eguagliando i due costi unitari si ottiene il COP (EER in estate) che deve avere il ciclo frigorifero a compressione di una pompa di calore elettrica perché il costo del kWh termico pareggi il costo unitario del sistema a combustibile fossile; si può costruire la curva d'indifferenza tra i due sistemi:

$$(15) \quad COP = \frac{REP \cdot p_C}{\frac{C_G}{C_E}}$$

La Figura 13 riporta i valori di COP e EER, calcolati secondo la (15) per tutti i sistemi esaminati (per quelli *Total Energy* si suppone che COP e EER del ciclo siano gli stessi di quelli della macchina elettrica).

Le curve sono date in funzione del rapporto tra costo del combustibile C_G (per il metano in €/m³) e costo dell'energia elettrica C_E (€/kWh): per valori superiori a quelli della curva conviene il sistema elettrico, mentre per valori inferiori conviene il sistema a metano.

Degli esempi aiutano a comprendere meglio l'utilizzo dei diagrammi. Se il rapporto C_G/C_E è uguale a 3 (costo del metano 0,45 €/m³ e costo dell'energia elettrica 0,15 €/kWh), gli indici energetici di pareggio tra la pompa di calore elettrica e gli altri sistemi sono:

- caldaia a condensazione: inverno COP = 3,5
- *Total Energy* Figura 3: inverno COP = 4,8 estate EER = 3,2
- *Total Energy* Figura 4: inverno COP = 5,9 estate EER = 4,3
- Assorbitore COP 1,7: inverno COP = 5,4 estate EER = 2,2
- Assorbitore COP 2: inverno COP = 6,4 estate EER = 3,2

Se il rapporto C_G/C_E è uguale a 4 (costo del metano 0,72 €/m³ e costo dell'energia elettrica 0,12 €/kWh), gli indici energetici di pareggio tra la pompa di calore elettrica e gli altri sistemi sono:

- caldaia a condensazione: inverno COP = 1,8
- *Total Energy* Figura 3: inverno COP = 4,0 estate EER = 3,2
- *Total Energy* Figura 4: inverno COP = 4,5 estate EER = 3,7
- Assorbitore COP 1,7: inverno COP = 2,7 estate EER = 1,1
- Assorbitore COP 2: inverno COP = 3,2 estate EER = 1,6

A parità di ogni altra condizione, le pompe di calore elettriche convengono rispetto alle caldaie e alle macchine ad assorbimento quanto più è alto il prezzo del metano e quanto più efficiente è il ciclo a compressione. In particolare le macchine ad assorbimento sembrano molto convenienti nel funzionamento invernale, soprattutto se si confrontano tra loro pompe di calore che sfruttano l'aria come sorgente termica (il COP del ciclo frigorifero a compressione è basso). La convenienza aumenta quando il costo del metano gode di agevolazioni fiscali, come nell'industria, nel settore alberghiero e negli ospizi. Viceversa, nel funzionamento estivo le macchine ad assorbimento risultano poco convenienti.

Il confronto tra pompe di calore elettriche e sistemi *Total Energy* è più complesso, anche perché il costo del metano può essere diverso a seconda che il motore sia direttamente accoppiato al compressore, oppure che produca energia elettrica mediante un alternatore. Solo in questo secondo caso il metano può essere defiscalizzato secondo quanto riportato nel *Testo Unico sulle Accise* che regola l'autoproduzione di energia elettrica.

In ogni caso, nel funzionamento estivo i sistemi con la configurazione di figura 3 sembrano poco interessanti in assoluto, perché l'EER di pareggio è costante e basso.

3.5. Il consumo energetico degli ausiliari

L'analisi fin qui condotta non considera l'energia elettrica spesa dagli ausiliari (ventilatori, pompe) dei sistemi a pompa di calore. La scelta è stata fatta perché in questo modo è più agevole e immediato confrontare tra loro sistemi diversi, come quelli esaminati.

Ovviamente, nelle valutazioni dei singoli impianti, l'energia richiesta dagli ausiliari va aggiunta al bilancio complessivo, perché non è mai trascurabile, anzi, in alcuni casi, il suo peso può essere tale da rendere poco efficiente il sistema nel suo complesso. Può essere il caso delle pompe di calore che usino acque sotterranee profonde

come sorgente termica: se per qualche motivo non si riesce a chiudere il circuito, l'energia di pompaggio spesa per l'emungimento può essere particolarmente elevata.

4. Sorgenti termiche

Le pompe di calore possono utilizzare molte sorgenti termiche:

- l'aria;
- le acque superficiali (mare, laghi, corsi d'acqua);
- le acque sotterranee;
- il terreno;
- il recupero termico;
- l'energia solare.

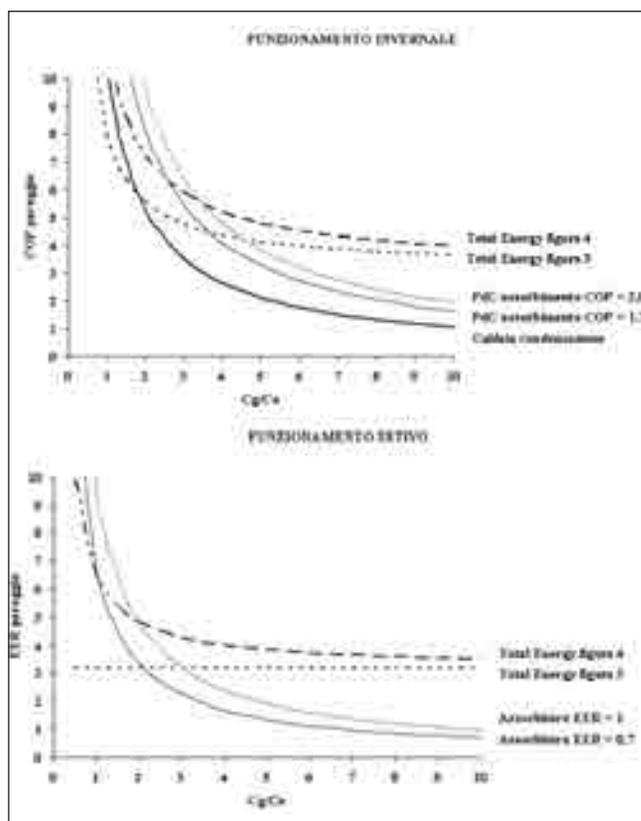


Figura 13. COP pareggio per una pompa di calore elettrica in funzione del rapporto tra costo del metano e costo dell'energia elettrica.

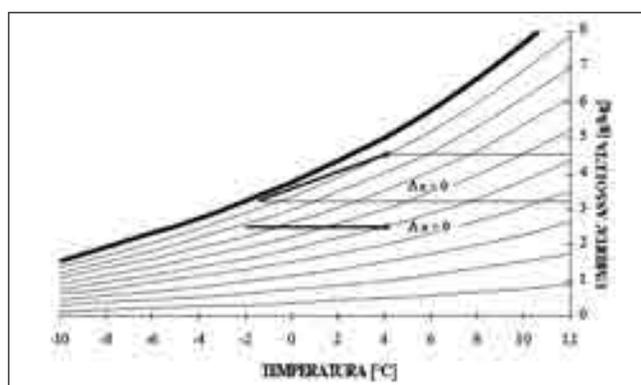


Figura 14. Trasformazioni dell'aria sulla batteria evaporante per diversi valori di umidità relativa.

A&RT

4.1. Aria esterna

L'aria esterna è la sorgente termica più diffusa ed utilizzata per le pompe di calore. Tuttavia, non è la migliore dal punto di vista energetico, a causa sia del basso livello termico, estremamente variabile nell'arco della giornata, sia della necessità di ricorrere a cicli di sbrinamento per contrastare la formazione di brina sulle batterie di scambio. Inoltre, a parità di condizioni, una batteria refrigerante-aria è in assoluto meno efficiente rispetto ad uno scambiatore refrigerante-acqua.

4.1.2. Cicli di sbrinamento nelle pompe di calore ad aria

Durante il funzionamento invernale si forma brina sulla superficie delle batterie evaporanti delle pompe di calore qualora avvengano simultaneamente due condizioni:

- diminuzione dell'umidità assoluta dell'aria tra ingresso ed uscita della batteria evaporante con conseguente deposito sulla superficie della condensa prodotta;
- temperatura superficiale della batteria evaporante inferiore a 0°C.

Come è visibile nel diagramma psicrometrico riportato in Figura 14, la formazione di condensa sulla batteria non dipende tanto dalla temperatura dell'aria, quanto dalla sua umidità assoluta. La figura mostra infatti lo scambio che avviene in una batteria in due differenti casi, entrambi con temperatura dell'aria di 4°C, ma per diversi valori di UR, rispettivamente del 90% e del 50%. Benché per entrambe le trasformazioni la temperatura superficiale della batteria sia inferiore a 0°C, la formazione di condensa, a seguito della variazione dell'umidità assoluta, si ha solamente nel caso di UR pari al 90%.

La Figura 14 mette in risalto un altro aspetto estremamente interessante per la comprensione del problema: il valore di Δx , cioè la variazione di umidità assoluta della trasformazione, dipende sostanzialmente dalla pendenza della curva di saturazione e quindi, a parità di ogni altra condizione, è maggiore per temperature dell'aria più elevate. Pertanto la quantità di ghiaccio formatasi sulle batterie (pari al prodotto della portata di massa dell'aria per Δx) diminuisce al diminuire della temperatura dell'aria.

Se il diagramma di Figura 14 mostra cosa avviene a pieno carico, bisogna chiedersi che succede in parzializzazione. Riducendo la portata di refrigerante nella batteria evaporante, si riduce lo scambio termico, la temperatura di evaporazione s'innalza e di conseguenza si innalza anche la temperatura superficiale della batteria, riducendo il fenomeno della formazione di brina.

È possibile allora tracciare sul diagramma psicrometrico un'area all'interno della quale avviene la formazione di brina sulle batterie evaporanti, così come mostrato in Figura 15.

Come si vede chiaramente, la formazione di brina può avvenire solamente per valori di U.R. superiori al 50%.

L'area si riduce drasticamente in caso di parzializzazione del singolo circuito proprio a causa dell'aumento della temperatura superficiale della batteria.

La quantità di ghiaccio formatasi non è uniforme in tutta l'area, ma è massima nel punto d'innescio del fenomeno sulla curva di saturazione, per diminuire all'allontanarsi da questo e si annulla lungo la curva limite inferiore. Ciò dimostra che i punti critici per la formazione del ghiaccio in una pompa di calore sono sempre quelli prossimi al punto d'innescio del fenomeno sulla curva di saturazione: più alta è la temperatura di innescio della brina, maggiore è la quantità di ghiaccio che si forma sulla batteria. Quindi le pompe di calore evaporanti ad aria temono non tanto le basse temperature, ma le elevate umidità con temperature dell'aria attorno a 5°C, come è il caso delle città della val Padana.

Il fenomeno della formazione della brina, se non controllato, porta rapidamente al blocco della pompa di calore per bassa pressione. Lo strato di ghiaccio che si forma sulla superficie della batteria riduce sia le caratteristiche di scambio termico, in quanto funge da isolante, sia l'area di passaggio dell'aria, aumentando le perdite di carico. Di fatto è come se la superficie di scambio si riducesse mano a mano al procedere della formazione di ghiaccio.

Una volta innescato, il fenomeno di formazione della brina aumenta d'intensità in modo esponenziale fino a che la batteria non si ricopre completamente di ghiaccio e i dispositivi di sicurezza della macchina non ne bloccano il funzionamento. Per evitare questo inconveniente, nelle pompe di calore evaporanti ad aria si effettuano sbrinamenti per eliminare il ghiaccio che incrosta le superfici di scambio, invertendo il ciclo frigorifero (il condensatore diventa evaporatore e viceversa).

I cicli di sbrinamento non sono indolori per la pompa di calore. Innanzitutto lo sbrinamento comporta una perdita energetica dovuta all'effetto congiunto del consumo di energia durante il ciclo ed della sottrazione di calore dall'impianto effettuata dal condensatore divenuto evaporatore. Questa perdita può essere quantificata in circa il 10% per ogni ciclo.

4.1.3. Il dimensionamento delle pompe di calore ad aria

Quando si deve installare una pompa di calore utilizzando aria come sorgente termica bisogna tener conto dei cicli di sbrinamento. Si deve ragionare in termini di energia, non di potenza.

Un esempio chiarisce la questione: una pompa di calore della potenza di 100 kW a determinate condizioni, è in grado di fornire in un'ora 100 kWh solo se funziona per 60 minuti consecutivi. Questo non può avvenire se si attivano i cicli di sbrinamento. Come detto in precedenza, ogni ciclo riduce del 10% circa l'energia fornita dalla pompa di calore in un'ora. Quindi, con due cicli di sbrinamento, si riduce l'energia fornita del 20%.

namento, l'energia fornita è di soli 80 kWh, contro i 100 kWh teorici.

Pertanto, nel dimensionamento della potenza fornita dalla pompa di calore è necessario considerare un aumento pari alla perdita di energia nelle peggiori condizioni di funzionamento. Per quanto detto in precedenza, questo incremento dipende molto dalle condizioni climatiche e può andare dal 12% al 25%. Nell'esempio precedente, per fornire 100 kWh, la potenza della pompa di calore deve essere 125 kWh, ovvero il 25% in più rispetto alla potenza richiesta.

4.2. Le acque superficiali

Il mare è una sorgente termica facilmente accessibile. L'Italia dispone di oltre 8.000 km di coste e la temperatura dell'acqua varia in prossimità della superficie da un minimo di 8°C in inverno a un massimo di 25°C in estate, mentre a 10 metri di profondità la temperatura è costante attorno ai 12-15°C. Solamente nelle lagune interne, caratterizzate da bassi fondali, si possono avere temperature inferiori, fino a 4°C nei giorni più freddi dell'anno.

Ciò che frena maggiormente i progettisti è in generale la paura legata ai problemi di corrosione e di pulizia dell'acqua di mare, paura del tutto infondata, se le questioni vengono affrontate con buon senso. Vale la pena di ricordare che non solo le principali centrali di produzione dell'energia elettrica utilizzano il mare per i loro condensatori, ma anche tutti i motori marini, dai piccoli fuoribordo delle imbarcazioni da diporto ai grandi diesel delle motonavi, adottano un raffreddamento ad acqua. Per garantire un corretto funzionamento si devono rispettare alcune regole fondamentali:

- gli scambiatori devono essere necessariamente di materiali che garantiscono resistenza alla corrosione: nel caso di scambiatori a piastre è meglio scegliere il titanio, più costoso, ma sicuramente estremamente resistente;
- vanno scelti degli scambiatori per acque fangose: in quelli a piastre, ad esempio, viene adottata una spaziatura maggiorata rispetto a quelli per usi tradizionali;
- bisogna costruire la presa dell'acqua in modo che la velocità d'ingresso sia estremamente bassa (superficie abbondante) così da evitare che la corrente artificialmente creata trascini alghe, sabbia e sacchetti di plastica;
- non bisogna eccedere con i sistemi di filtraggio: basta una rete metallica di protezione alla presa per evitare l'ingresso di alghe e sacchetti di plastica e, al massimo, un filtro antisabbia autopulente a protezione dello scambiatore;
- la linea acqua di mare deve essere sempre realizzata in materiale plastico: i tubi in acciaio inossidabile resistono alla corrosione, ma le saldature tendono a saltare.

Corsi d'acqua e laghi sono meno diffusi in Italia: sono abbastanza facilmente utilizzabili solo nella pianura padana

ed in qualche zona del centro. Un limite nell'utilizzo pratico è dato sia dalle temperature minime invernali prossime a 0°C, soprattutto nel settentrione, sia dalla variazione di portata d'acqua e dalle escursioni del livello che possono essere molto rilevanti nel corso dell'anno. Rispetto all'acqua di mare vengono meno le problematiche legate alla corrosione dei metalli, ma si ampliano quelle legate al filtraggio, dal momento che, generalmente, queste acque sono particolarmente fangose.

Attualmente in Italia il problema principale non è tanto di ordine tecnico quanto burocratico. Ci si deve confrontare con il Magistrato alle acque del Genio Civile e con la

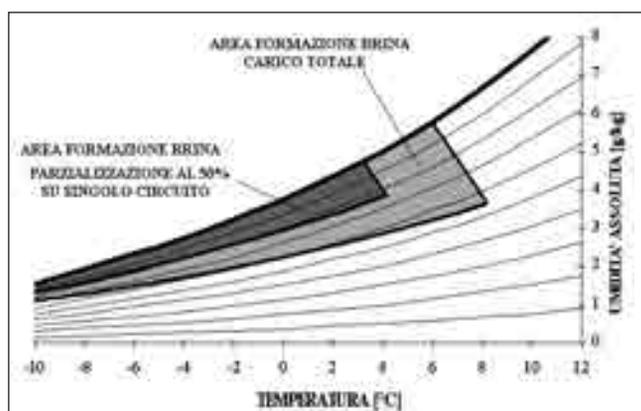


Figura 15. Area di formazione di brina sulle batterie evaporanti.

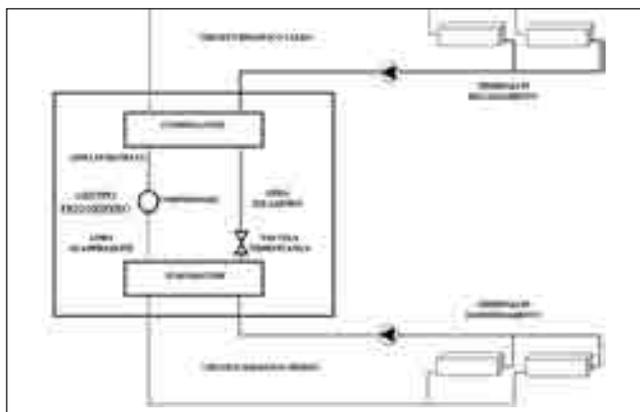


Figura 16. Recupero di calore da ambienti interni con gruppo frigorifero polivalente.

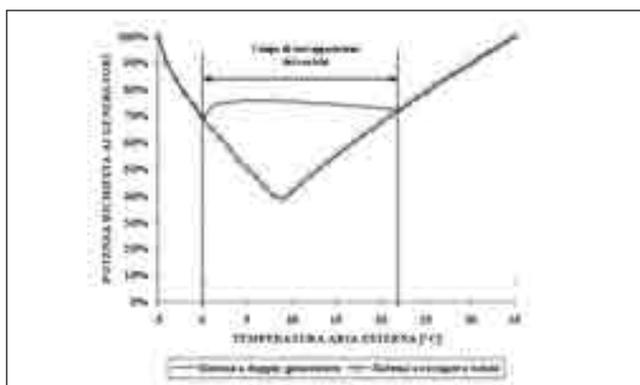


Figura 17. Potenza richiesta ai generatori. I sistemi a recupero totale richiedono minor potenza rispetto ai sistemi a doppio generatore nel campo della sovrapposizione dei carichi.

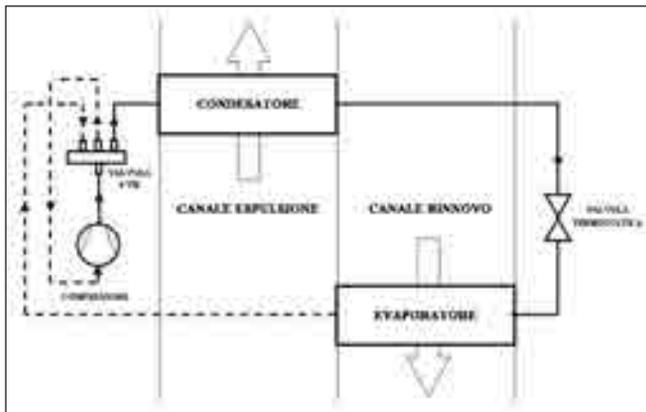


Figura 18a. Recupero tramite pompa di calore a compressione (funzionamento estivo).

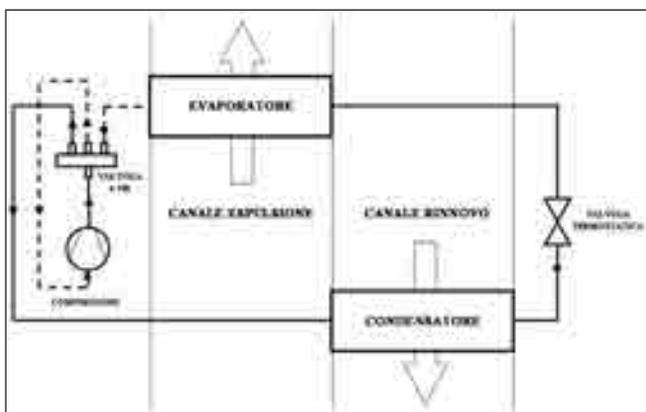


Figura 18 b. Recupero tramite pompa di calore a compressione (funzionamento invernale).

Inverno	T esterna [°C]	15	10	5	0	-5	-10	-15
T ambiente: 20°C	COP	4,09	3,78	3,38	3,71	3,28	2,90	2,50
Estate	T esterna [°C]	12,5	10	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5
T ambiente: 26°C	COP	4,71	4,55	4,33	4,23	3,87	3,55	3,28

Tabella 1. COP raggiungibili con recupero di calore dinamico.

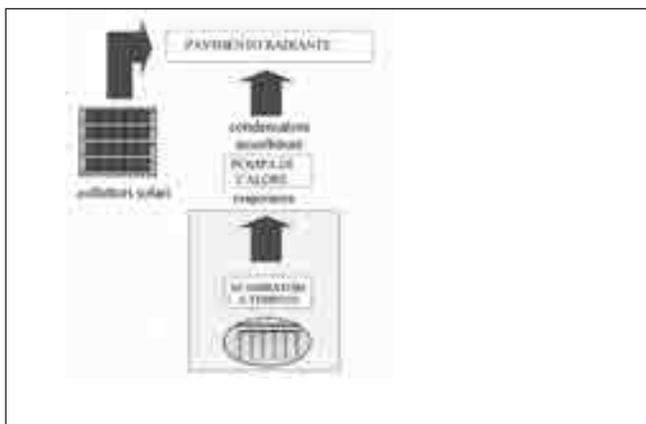


Figura 19. Pompa di calore ad assorbimento di un sistema Total Energy che utilizza l'aria espulsa come sorgente termica nel funzionamento invernale.

legge Merli, che limita a pochi gradi il differenziale tra temperatura di presa e temperatura di espulsione, nonché talora con alcuni regolamenti locali.

4.3. Le acque sotterranee

Le acque sotterranee rappresentano un'ottima sorgente termica in quanto sono caratterizzate da una temperatura costante durante tutto l'anno, tra i 12°C ed i 18°C, e non presentano alcun problema né di corrosione né di filtraggio. La temperatura è tale da consentire l'utilizzo del *free-cooling* nel periodo estivo.

Il sistema è largamente diffuso nei Paesi del nord Europa ed in particolare in Olanda, dove il NOVEM, l'Agenzia Olandese per l'Energia e l'Ambiente, ha promosso questa tecnologia ad elevato risparmio energetico ancora negli anni '90. In Italia, purtroppo, le normative non sono semplici, né uguali in ogni regione.

4.4. Il terreno

La temperatura del terreno ad una certa profondità è costante e il suo valore è molto prossimo a quello della media annuale della temperatura dell'aria, quindi estremamente interessante per l'utilizzo delle pompe di calore. A profondità maggiori entra in gioco l'energia termica endogena: oltre i 30 m di profondità si riscontra in media un incremento di temperatura di circa 1°C ogni 30 m.

L'utilizzazione del terreno come sorgente termica per la pompa di calore si realizza interrando tubi di adeguata lunghezza. Esistono due tecniche diverse: a tubi orizzontali e a tubi verticali. I sistemi a tubi orizzontali vengono interrati generalmente a profondità tra 0,8 e 1,5 m, mentre quelli a tubi verticali raggiungono profondità che vanno dai 10 agli oltre 100 m.

Il primo sistema è conosciuto da quasi tre decenni, mentre il secondo si è sviluppato a partire dalla fine degli anni 90. Il maggior numero di applicazioni è nei paesi europei di lingua tedesca e negli Stati Uniti. La tecnologia richiede un'elevata specializzazione, ma non ha costi proibitivi, come dimostrano le innumerevoli applicazioni anche nell'ambito delle piccole potenze.

4.5. Il recupero termico

Il recupero termico è spesso utilizzato nell'industria, dove sono presenti cascami energetici a temperatura medio-bassa (attorno ai 25-30°C) a fronte di richieste di flussi a temperatura superiore (70-90°C). Per queste applicazioni si sono studiate delle apposite macchine di elevata potenza, denominate amplificatori di temperatura, sia a compressione di refrigerante (R134a per la sua caratteristica di condensare ad alta temperatura), sia ad assorbimento.

Nel campo civile le sorgenti termiche da utilizzare sono soprattutto:

- ambienti interni;
- aria espulsa dagli ambienti riscaldati;
- scarichi fognari delle acque bianche.

4.5.1. Recupero termico da ambienti interni

In molti edifici moderni del terziario avanzato vi sono, per molti periodi dell'anno, fabbisogni energetici di segno opposto tra vari locali, alcuni dei quali richiedono di essere riscaldati, mentre altri, al contrario devono essere raffrescati. È il caso tipico dei palazzi per uffici con superfici vetrate, dei centri commerciali ed anche dei grandi alberghi, nei quali le diverse esigenze della clientela internazionale abituata a standard di comfort termico completamente dissimili tra loro, a seconda del Paese d'origine, richiedono sempre più l'installazione di impianti a quattro tubi. Con l'aumento dell'isolamento termico si può avere anche una richiesta simultanea di caldo e di freddo perché gli ambienti vanno raffreddati, mentre l'aria di rinnovo va riscaldata.

In questi casi si possono usare delle pompe di calore a compressione, sia idroniche che a espansione diretta. Nel caso di sistemi idronici si utilizzano i gruppi polivalenti a quattro tubi (Figura 16), mentre nel caso dell'espansione diretta si possono usare i sistemi VRV-VRF a recupero totale.

Tutti questi sistemi a recupero permettono di ottenere grandi risparmi energetici rispetto ai sistemi idronici a doppio generatore, come mostrato in Figura 17.

Nel caso di sistemi a doppio generatore (caldaia per il caldo e gruppo frigorifero per il freddo) la potenza richiesta è nettamente superiore quando vi è una sovrapposizione di carico.

Per i sistemi a recupero totale, la potenza richiesta è pari alla potenza massima tra quella termica e quella frigorifera. Per i sistemi a doppio generatore, invece, la potenza richiesta è pari alla somma delle due potenze, la termica e la frigorifera. Pertanto l'efficienza energetica scende notevolmente per i sistemi a doppio generatore

4.5.2. Recupero termico dall'aria di espulsione

Gli standard di qualità dell'aria richiedono un certo numero di ricambi in funzione, per esempio, della destinazione d'uso. L'aria espulsa può essere utilizzata come sorgente fredda nel periodo invernale, come sorgente calda nel periodo estivo.

Vi sono diverse possibilità per recuperare il calore dell'aria di espulsione mediante un ciclo frigorifero. Un modo, detto recupero di calore dinamico, consiste nell'utilizzare una pompa di calore a compressione, posta direttamente tra i due flussi d'aria. Il funzionamento è mostrato in Figura 18. Nel funzionamento estivo, lo scambiatore posto nel canale di espulsione lavora come condensatore, mentre quello posto sul canale di presa d'aria esterna (rinnovo) lavora come evaporatore, al contrario nel funzionamento invernale.

Lo scambio di calore non è gratuito, ma avviene solo grazie al lavoro del compressore. Le temperature dei flussi d'aria sono favorevoli, per cui il COP è sufficientemente elevato per renderlo conveniente in diverse condizioni.

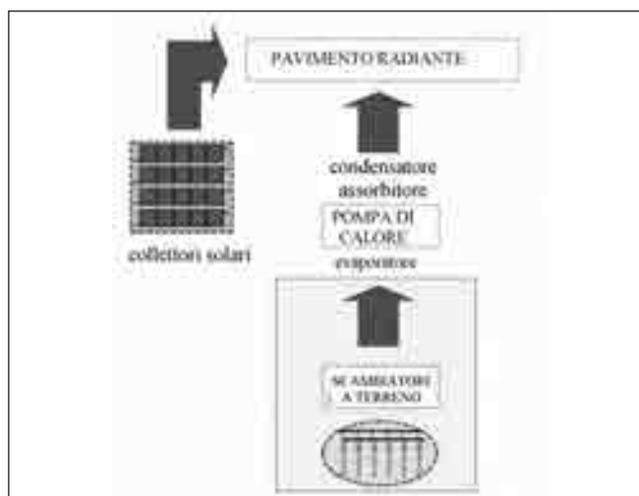


Figura 20. Riscaldamento diretto da collettori solari con il contributo della pompa di calore con sorgente fredda terreno.

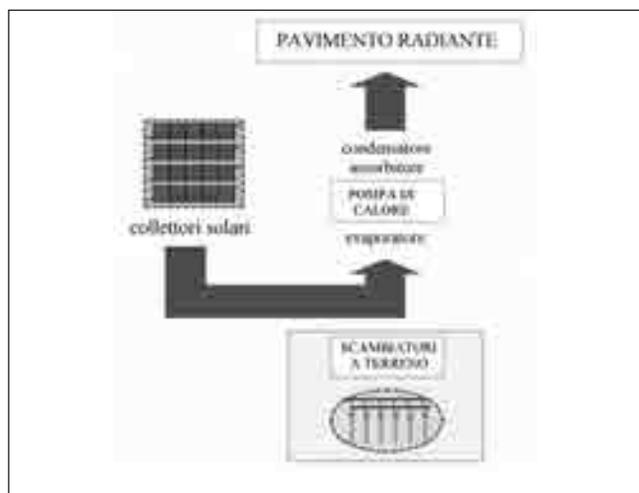


Figura 21. I collettori solari alimentano l'evaporatore della pompa di calore.

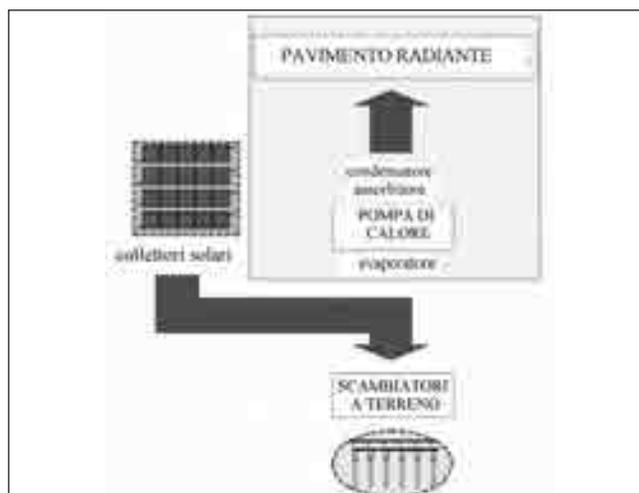


Figura 22. Fase estiva: i collettori solari ricaricano il terreno.

A&RT

La Tabella I sono riportati i valori di COP raggiungibili in funzionamento estivo ed invernale.

Un altro modo per recuperare il calore dell'aria espulsa è quello di utilizzare una pompa di calore ad assorbimento. Come si è detto nel Paragrafo 2.3, solo le pompe di calore ad assorbimento con soluzione ammoniacale-acqua possono utilizzare l'aria esterna come sorgente termica. Le pompe di calore con soluzione acqua-bromuro di litio, invece, devono necessariamente lavorare con temperatura di evaporazione superiore a 0°C e quindi possono solo utilizzare sorgenti alternative, come acque superficiali o terreno. In assenza di queste, si può usare come sorgente fredda l'aria espulsa.

In Figura 19 è riportato lo schema idraulico di un sistema *Total Energy*: l'evaporatore della pompa di calore ad assorbimento è collegato ad una batteria fredda, inserita nel canale di espulsione dell'aria, mentre il condensatore è collegato ad un impianto a bassa temperatura, che può essere utilizzato per pannelli radianti o per il preriscaldamento dell'aria di rinnovo. Un ulteriore scambiatore di calore può essere collegato a valle della batteria.

4.5.3 Recupero fognario da acque bianche

Nei grandi alberghi o negli stabilimenti termali l'energia termica dispersa dagli scarichi delle acque bianche può essere molto consistente, pari a circa il 75-90% dell'energia richiesta per la produzione di acqua sanitaria. Quindi gli scarichi, se opportunamente convogliati, possono divenire un'ottima sorgente termica facilmente sfruttabile,

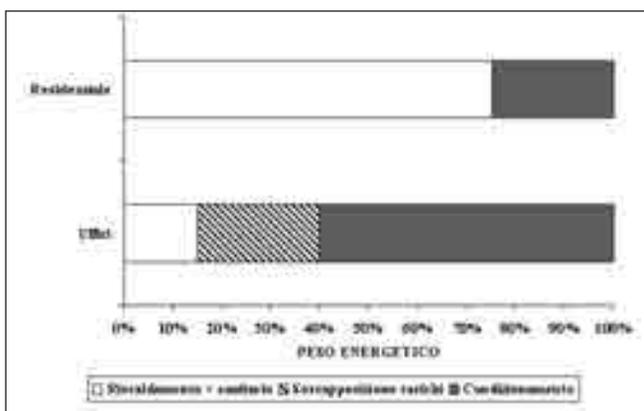


Figura 23. Ripartizione percentuale del consumo di energia in un anno (città del Nord Italia).

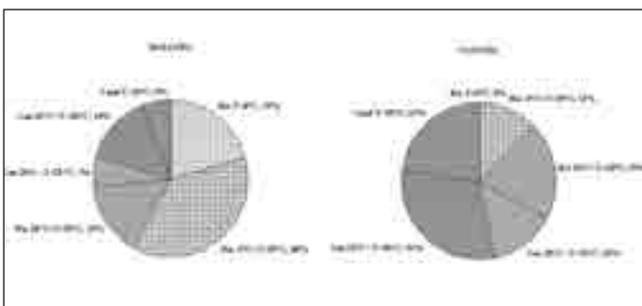


Figura 24. Richiesta di energia per fasce di temperatura (edificio ad uso alberghiero).

senza bisogno di eccessivi trattamenti di filtrazione.

Le applicazioni sono attualmente limitate, più per la paura dei progettisti a cimentarsi con soluzioni all'apparenza bizzarre, piuttosto che per evidenti difficoltà tecniche.

4.5.4. L'energia solare

Le pompe di calore possono utilizzare come integrazione anche l'energia solare. Nelle Figure da 20 a 22 è riportato lo schema di funzionamento di un impianto *dual-source* (Lazzarin, marzo 2010): la parte del solare termico è finalizzata a sfruttare l'impianto solare anche in condizioni di insufficiente insolazione per un impiego diretto, con minime riduzioni nelle normali prestazioni dell'impianto solare termico.

In una recente realizzazione in un polo scolastico in una località di montagna (Agordo) si è realizzato un impianto del tipo *dual-source*, in cui alla sorgente fredda terreno si sono affiancati 50 m² di collettori solari termici. La dimensione della sezione solare non è stata dettata da considerazioni di ottimizzazione, quanto dai vincoli di budget.

I collettori solari possono con livelli sufficienti di radiazione alimentare direttamente l'impianto di riscaldamento a pavimento radiante, coadiuvati dalla pompa di calore a terreno, ovvero alimentare l'evaporatore della pompa di calore (Figura 20). Durante l'estate i collettori solari forniscono energia termica per "ricaricare" il terreno (Figura 21).

La simulazione su base annua mostra che, nonostante la ridotta superficie di captazione ed il clima piuttosto rigido (attorno ai 4000 GG/anno), il contributo solare diretto è dell'ordine del 15% del totale carico di riscaldamento (circa 50.000 kWh – l'edificio è molto ben isolato), mentre la pompa di calore lavora per il 75% del tempo con il terreno e per il rimanente 25% in collegamento con la sezione solare.

La particolarità dell'impianto descritto è che la pompa di calore impiegata è del tipo ad assorbimento.

5. Come scegliere una pompa di calore

Le pompe di calore lavorano sia in funzionamento estivo (condizionamento) che in funzionamento invernale (riscaldamento). Per sceglierle e dimensionarle correttamente bisognerebbe innanzitutto capire in quale delle due stagioni l'impianto richiede il massimo consumo di energia. Sembra un concetto banale, ma attualmente esiste una grande confusione, a causa delle normative sull'efficienza energetica, limitate al solo periodo del riscaldamento invernale. Questa è una scelta sciagurata, in applicazioni diverse dal residenziale o dall'alberghiero, per quest'ultimo settore limitatamente alle città "fredde". In tutte le altre applicazioni, caratterizzate da un elevato carico endogeno, i consumi energetici sono più elevati nel funzionamento in condizionamento estivo.

Il consumo annuo di energia dipende dalla destinazione d'uso, a parità di clima e di edificio. La Figura 23, valida per una città del nord Italia, mostra come si può ripartire il

consumo energetico in uno stesso edificio a seconda dell'utilizzo. Nel residenziale il peso del riscaldamento invernale e della produzione di acqua calda sanitaria è molto elevato, nell'ordine del 70% se non superiore. In un'applicazione del terziario, come nel caso di uffici, è il condizionamento estivo ad avere il peso maggiore, mentre il riscaldamento invernale ha un peso molto basso, se l'edificio è molto ben isolato. Ciò non deve sorprendere: con valori di trasmittanza molto bassi la richiesta media di energia termica in un ambiente è dell'ordine al massimo di qualche centinaio di Watt. In un ufficio basta la presenza di due persone, due computer e delle luci accese per annullarla completamente nella maggior parte dell'anno.

Interessante è invece osservare come vi sia un'ampia fascia di consumo che avviene quando si hanno carichi contemporanei di segno opposto. Tale evento può manifestarsi sia perché vi sono esposizioni diverse (ad esempio nord-sud) sia perché gli ambienti devono essere raffreddati anche con aria esterna molto bassa (inferiore a 10°C), ma l'aria di rinnovo va immessa in ambiente ad una temperatura sufficientemente elevata, almeno 16°C.

Per una progettazione energeticamente consapevole è fondamentale capire in quali condizioni climatiche avvenga la massima richiesta di energia, per poter effettuare le scelte più appropriate. Ogni edificio fa storia a sé, in funzione di dove e come è costruito, e di come è utilizzato. La Figura 24 mostra le percentuali di energia richiesta per tutto l'anno in edifici simili ad uso alberghiero, posti a Bolzano a Catania. Come si può notare, la situazione è assolutamente speculare: a Bolzano la richiesta di energia in riscaldamento è pari al 74% del totale, mentre a Catania è pari solamente al 32%. Di conseguenza, a Bolzano l'impianto va ottimizzato un regime invernale, nelle fasce di temperatura fino 10°C, dove è concentrato il massimo consumo di energia, pari al 59% su base annua. A Catania l'impianto va ottimizzato in regime estivo, nelle fasce di temperatura oltre i 25°C dove è concentrato il massimo consumo di energia, pari al 54% su base annua.

Quindi, nel residenziale e nell'alberghiero (solo nelle città più fredde) la pompa di calore deve essere pensata per il prevalente uso invernale, negli altri casi per il prevalente uso estivo.

Perché è necessaria questa distinzione? Perché, come visto in

precedenza, le varie tipologie di pompe di calore hanno prestazioni diverse a seconda del periodo di funzionamento.

Inoltre, limitandosi ai cicli a compressione, sia elettrici che con motore, alcune scelte tecniche privilegiano un regime di funzionamento rispetto all'altro.

Conclusioni

Le prestazioni dei gruppi frigoriferi in generale e delle pompe di calore in particolare sono oggetto di un continuo miglioramento tecnologico. I valori di efficienza energetica raggiungibili con le nuove tecnologie sono molto elevati, sia nel funzionamento estivo che in quello invernale.

L'Italia è un paese caratterizzato da un clima mite. Le nuove normative sul risparmio energetico fanno aumentare l'isolamento termico degli edifici, limitando il consumo soprattutto nel periodo invernale. Pertanto è sempre conveniente ricercare l'ottimizzazione delle pompe di calore prevalentemente nel funzionamento estivo, con le eccezioni delle abitazioni e del settore alberghiero, quest'ultimo limitatamente alle città fredde del nord Italia.

Bibliografia

R. Lazzarin, *Le energie rinnovabili e le pompe di calore*, in *Le pompe di calore*, Conferenze a tema AICARR, Milano, marzo 2010

R. Lazzarin, *Le pompe di calore ad assorbimento: tecnologia e potenzialità*, convegno AICARR, Bologna ottobre 2010

M. Vio, *Sistemi Total Energy per la climatizzazione*, in Atti del convegno AICARR, Milano, marzo 1998

M. Vio, *L'utilizzo dell'inverter nei gruppi frigoriferi con turbo-compressori centrifughi*, CdA, luglio 2006

M. Vio et al., *Le centrali frigorifere*, Editoriale Delfino, Milano 2007²

M. Vio, *Gli impianti di cogenerazione*, Editoriale Delfino, Milano 2009²

M. Vio, *Pompe di calore a compressione: stato dell'arte e innovazione*, in *Le pompe di calore*, Conferenze a tema AICARR, Milano marzo 2010

Prospettive di sviluppo degli impianti solari termici

Advances on solar thermal systems

MARCO BECCALI

Marco Beccali, ingegnere, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo.
marco.beccali@dream.unipa.it

La domanda di energia per la climatizzazione ambientale e per usi termici a medie basse temperature costituisce oggi circa il 50% della domanda totale di energia in Europa.

In questo contesto le tecnologie del solare termico possono giocare un ruolo di primo piano.

Le tecnologie per usi termici a bassa temperatura sono già ampiamente disponibili ed affidabili. Ulteriori sviluppi consentiranno di incrementarne le prestazioni e le tipologie di applicazione anche in ambiti oggi poco competitivi. Nell'articolo si tracciano le linee principali delle attività di ricerca e di innovazione per la componentistica di impianti solari termici e per le applicazioni ad essi connessi nel settore civile.

In sintesi i temi di ricerca principali riguardano lo sviluppo di collettori solari ad alta efficienza, nuove tecnologie per accumuli termici compatti e "time-indifferent", sistemi di integrazione architettonica di tecnologie solari attive, sistemi di raffreddamento e refrigerazione alimentati da calore.

Energy demand for building heating and cooling and for low-medium temperature heat is today about the 50% of the global energy demand in Europe.

In this context solar thermal technologies can play an important role to meet a relevant part of their demand. Low temperature solar thermal systems are yet widely available on the market with good reliability and energy performances. Further improvements will upgrade their performances and make possible their application also in today not competitive sectors. This paper depicts the main trends of research and innovation in solar thermal technologies for application in the civil sector.

In summary they deal with R&D in: high efficiency solar collectors, compact and time indifferent thermal storages, architectural integration of active solar thermal components, solar (heat driven) cooling systems

Introduzione

La domanda di energia per la climatizzazione ambientale e per usi termici a medie basse temperature costituisce oggi circa il 50% della domanda totale di energia in Europa.

In questo contesto le tecnologie del solare termico possono giocare un ruolo di primo piano. Le applicazioni possibili delle tecnologie solari termiche non dipendono da fonti esauribili. L'energia solare è disponibile ovunque ed è sfruttata anche alle latitudini in cui è presente in minore quantità.

Già oggi, l'energia solare termica per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti è una tecnologia ben consolidata e con alti tassi di diffusione in alcuni paesi. L'andamento positivo del mercato europeo del solare termico nell'ultimo decennio è stato caratterizzato

da una forte crescita. Le superfici installate sono aumentate con incrementi annuali pari a circa dieci volte quelli di dieci anni fa.

L'Italia è oggi il secondo mercato europeo, e molto più stabile di altri mercati emergenti. In confronto al 2008, il mercato italiano ha registrato una lieve flessione del 5% nel 2009 con 280 MWth di potenza installata con nuovi impianti, corrispondenti a circa 400.000 m² di collettori solari termici (fonte ESTIF 2010). Grazie alla sua collocazione geografica e in forza della sua elevata dipendenza energetica (86,8% in Italia in confronto con una media europea del 53,8%), il mercato italiano presenta ancora un potenziale notevole di espansione.

La grande crescita degli ultimi anni ha beneficiato delle politiche fiscali che prevedono un credito di imposta del 55% per misure di efficienza energetica in edifici esistenti, in vigore fino alla fine del 2010. Molti osservatori concordano sul rischio di contrazione della crescita a seguito della soppressione o della drastica riduzione di tale incentivo.

Un panel di esperti coordinati dalla Commissione Europea denominato European Solar Thermal Technology Platform ha sviluppato nel 2008 un documento noto come *Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe*.

In esso si delinea uno scenario di medio-lungo termine (2030) dove si prevede che il solare termico possa coprire circa il 50% della domanda totale di calore, se tale domanda è preventivamente ridotta mediante adeguate misure di efficienza energetica.

Per raggiungere questi obiettivi, nuove applicazioni del solare termico devono essere sviluppate e introdotte nel mercato.

Mentre negli edifici di nuova costruzione la direttiva EPBD "recast" introduce il concetto di Nearly Zero Energy Building, nZEB prevedendo per il 2020 la quasi autonomia energetica degli edifici di nuova costruzione (dal 2018 per gli edifici pubblici), il tema degli interventi negli edifici e negli impianti esistenti è anche in questo ambito cruciale.

Ne consegue che nello scenario 2030 elaborato nel documento il solare termico coprirà il 50% della domanda di riscaldamento nel lungo periodo quando verrà utilizzato in quasi tutti gli edifici coprendo più del 50% della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento negli edifici ristrutturati e il 100% nei nuovi edifici.

Il solare termico inoltre sarà utilizzato nel teleriscaldamento e nelle applicazioni commerciali ed industriali con tecnologie nuove ed innovative.

Nel breve-medio termine, con le tecnologie oggi disponibili, il potenziale del solare termico è superiore alla penetrazione attuale in uno dei paesi più solarizzati, l'Austria (ca. 250 kWth per 1.000 capita) ed anche a quello di Cipro dove è utilizzato quasi esclusivamente per la produzione di ACS. Il raggiungimento del livello di diffusione di Cipro in

tutta Europa significherebbe moltiplicare per 15 le installazioni attualmente funzionanti. Tuttavia si può ragionevolmente affermare che nei prossimi due decenni il fattore tecnologico non sarà certamente limitante per la crescita. Lo sviluppo tecnologico potrà anzi accelerare ulteriormente la penetrazione nel mercato.

1. Aspetti chiave di sviluppo tecnologico

Mentre un numero esiguo di edifici solari attivi è già stato realizzato e dimostrato, l'obiettivo di divenire standard dal 2030 sarà possibile solo a seguito di un significativo progresso tecnologico nelle seguenti aree:

- collettori solari ad alta efficienza che incrementeranno l'energia utilizzata nella stagione invernale mantenendo alti livelli di durabilità ed incrementando la competitività economica del processo di manifattura e installazione;
- nuove tecnologie per accumuli termici compatti e "time-indifferent" che ridurranno ingombri e pesi di questo sottosistema. Ciò porterà anche a più soluzioni più economiche e più pratiche di accumulo stagionale consentendo di sfruttare maggiori quantità di calore captato in estate per usi invernali;
- sistemi di integrazione architettonica di tecnologie solari attive e passive;
- sistemi di raffreddamento e refrigerazione alimentati da calore più efficienti per coprire una parte consistente della domanda di condizionamento con l'energia solare;
- sistemi di controllo intelligente di tutti i flussi energetici degli edifici contribuiranno ad una riduzione dei consumi ed ad una ottimizzazione dell'uso dell'energia solare.

Nel seguito si tracciano le linee principali delle attività di ricerca e di innovazione per la componentistica di impianti solari termici e per le applicazioni ad essi connessi nel settore civile.

2. Collettori solari ad elevate prestazioni

Il componente più rappresentativo di un impianto solare termico è certamente il dispositivo di captazione ed assorbimento della radiazione solare, il pannello (o collettore). I collettori solari termici sono una tipologia speciale di scambiatori di calore che trasferiscono la componente termica della radiazione solare ad un fluido termovettore.

Il tipo più comune è il pannello piano. È un collettore stazionario in cui l'area di ricezione e di assorbimento della radiazione solare coincidono. È costituito da una piastra assorbente, dei condotti per il passaggio del fluido termovettore, una lastra di copertura trasparente (in alcuni casi può essere assente), l'isolamento termico posteriore e laterale, la struttura di supporto e contenimento.

Il vetro, se di qualità opportuna, è trasparente alle radiazioni dello spettro della radiazione solare, mentre è opaco a radiazioni di lunghezza d'onda maggiore come quelle emesse dalla piastra.

A&RT

Per massimizzare la resa termica del collettore è necessario che la piastra captante sia caratterizzata da una elevata assorbenza e da una bassa emissività termica.

Queste proprietà vengono raggiunte mediante un trattamento selettivo della superficie piuttosto che con la semplice verniciatura nera della stessa.

Il vetro solare standard utilizzato per la copertura dei collettori riflette, per ciascuna delle due superfici (interne ed esterna), una frazione della radiazione incidente che non supera il 4%. Ciò significa che, tenendo in considerazione anche i fenomeni di assorbimento, mediamente solo il 90% della radiazione che penetra nel collettore ha un effetto utile. Alcune aziende hanno sviluppato un trattamento della superficie vetrata che ne riduce il coefficiente di riflessione a tal punto che la capacità di trasmissione viene innalzata fino al 96%.

Questa tecnologia si basa su un processo di corrosione mediante il quale la superficie del vetro viene resa ruvida. La scocca in cui è generalmente incapsulato il dispositivo di captazione, è realizzata in metallo (alluminio anodizzato o acciaio inossidabile) oppure, recentemente anche in plastica (fibra di vetro, resine epossidiche, miscele di poliuretani).

Per migliorare le prestazioni di un pannello solare piano è necessario ridurre significativamente le dispersioni di calore.

Migliorando opportunamente le prestazioni del collettore solare piano si può pensare di utilizzarlo anche per temperature superiori a quelli usuali fino a raggiungere circa 120-150°C.

In primo luogo è necessario ridurre le dispersioni termiche principalmente sul lato anteriore del collettore senza sacrificarne le prestazioni ottiche.

Possibili miglioramenti in tal senso si possono ottenere con:

- collettori ermetici riempiti con gas inerti;
- collettori con coperture vetrate a doppia lastra;
- collettori piani sottovuoto.

Il miglioramento delle prestazioni ottenibile mediante l'utilizzo di vetri antiriflesso è notevole. In questo caso il miglioramento è indipendente dalla temperatura di funzionamento.

L'uso di coperture vetrate a due o tre lastre garantisce invece migliori prestazioni per temperature di funzionamento maggiori con incrementi dell'efficienza anche del 35%.

Queste prestazioni sono state verificate anche in via sperimentale nei laboratori del Fraunhofer ISE di Friburgo. I collettori con doppio vetro e gas inerte così come collettori piani sottovuoto sono già disponibili sul mercato. In generale, per applicazioni che richiedono calore di processo a temperature fino a 120°C, i collettori solari piani ad alte prestazioni sono più convenienti economicamente dei collettori a concentrazione. Ciò è particolarmente vero per climi in cui vi è una forte frazione di

radiazione diffusa.

Una nota va anche fatta sui materiali utilizzati per la costruzione di un impianto solare.

Trovare un'alternativa all'attuale uso di metalli (costosi ed energivori) sarà certamente una richiesta urgente nel prossimo futuro. In questo panorama i materiali polimerici sono buoni candidati anche per via della significativa riduzione di costo che potrebbero garantire.

Un'altra tecnologia di pannelli solari stazionari, è quella dei collettori a tubi evacuati. In questa tipologia le dispersioni termiche attraverso il vetro verso l'ambiente esterno sono ridotte al minimo mantenendo il vuoto nella porzione di spazio tra l'assorbitore ed il vetro. L'involucro deve assicurare una tenuta perfetta nel tempo. Grazie a queste caratteristiche costruttive, le temperature raggiunte dal fluido termovettore sono dell'ordine di 110-120°C permettendo così l'impiego di questi collettori anche nel campo dei processi industriali.

Le perdite di calore vengono così talmente ridotte che anche in presenza di piastra captante con temperatura superiore ai 120 °C, al superficie esterna del tubo rimane fredda.

I collettori sottovuoto hanno un'efficienza ottica lievemente inferiore rispetto ai collettori piani in ragione della forma discontinua della piastra captante, ma grazie al migliore isolamento termico l'efficienza globale media annuale è superiore a quella dei collettori piani.

I vantaggi principali sono: un'elevata efficienza anche in presenza di elevati gradienti termici tra la piastra captante e l'ambiente circosta e in condizioni di irraggiamento contenuto (in inverno)

I limiti principali sono dovuti al fatto che è più costoso di un collettore piano e i suoi componenti (i tubi) risultano spesso fragili e di difficile rimpiazzo.

Il potenziale di ulteriore miglioramento delle prestazioni è principalmente legato ad una più facile riparazione e manutenzione, ad una maggiore resistenza alle elevate temperature di stagnazione, all'ulteriore incremento delle prestazioni energetiche, alla durabilità e alla introduzione di prodotti che possano per una maggiore integrazione architettonica.

I collettori piani e gli evacuati producono acqua a temperature utili generalmente inferiori a 100 °C. Quando, per taluni impieghi, occorrono temperature superiori si può ricorrere ai collettori a concentrazione, cosiddetti in quanto concentrano sull'elemento assorbitore la radiazione raccolta.

Alla base di questa tecnologia vi è l'utilizzo di un sistema superfici riflettenti che agiscono come specchi concentratori della radiazione solare la quale viene indirizzata su di un ricevitore (un tubo o un serbatoio) ove è presente il fluido termovettore.

Nella maggior parte dei casi, i collettori a concentrazione richiedono un sistema di movimentazione che inseguia la radiazione solare diretta.

Caratteristica basilare di questo genere di collettori è il “rapporto di concentrazione”: il rapporto tra le densità del flusso di radiazione prima e dopo la concentrazione. I sistemi a concentrazione più frequentemente utilizzati ricorrono all'uso di superfici riflettenti di forma cilindro-parabolica, o paraboloidi, o tronco conica. Generalmente si può dire che i collettori a concentrazione impiegano dispositivi ottici -a riflessione oppure a rifrazione- per aumentare l'intensità della radiazione solare sulla superficie assorbente del ricevitore. Un più intenso flusso di energia su quella superficie significa un'area assorbente minore a parità di energia in gioco e di conseguenza perdite termiche minori. Per contro si presentano due altri tipi di svantaggi:

- la maggior parte dei dispositivi a concentrazione utilizza soltanto la radiazione solare diretta, mentre quella diffusa va persa;
- le perdite per imperfezioni ottiche possono essere rilevanti;

I collettori a concentrazione possono produrre, sulla superficie del ricevitore, flussi di radiazione da 1,5 sino a 10.000 volte più intensi di quelli naturali. Aumentare il rapporto di concentrazione significa aumentare la temperatura alla quale l'energia viene fornita ma significa anche aumentare l'esigenza di precisione dei dispositivi ottici e perciò accrescerne i costi. Le temperature raggiungibili che vanno da 100 °C fino a oltre 1200 °C. Le applicazioni di questi sistemi sono principalmente nel settore industriale, per la produzione di potenza elettrica e di vapore (con temperature oltre i 500 °C), ed ultimamente anche per la produzione di freddo in grande dimensioni. Il fluido caldo può anche essere immagazzinato e utilizzato quando l'energia solare non è disponibile.

Fra le tipologie più ricorrenti di collettori ad inseguimento si hanno:

- parabolic trough collector;
- linear Fresnel reflector (LFR);
- parabolic dish;
- central receiver.

Tutte queste tipologie sono oggi oggetto di intense attività di ricerca per migliorarne prestazioni e affidabilità e per ridurle i costi.

Fra i collettori a concentrazione con maggiori potenzialità di impiego nel settore civile possiamo anche annoverare i civili i collettori CPC (Compound Parabolic Concentrator). Si tratta di sistemi stazionari in cui l'immagine del sole non viene focalizzata su un ricevitore.

I collettori CPC sono i candidati naturali a coprire il gap fra le temperature di produzione di un pannello piano ($T < 80^{\circ}\text{C}$) e le temperature molto più alte dei sistemi a concentrazione lineare ad inseguimento (da 200 a 1200 °C). I collettori CPC, sono montati su un piano e hanno l'enorme vantaggio di ricevere e assorbire la radiazione proveniente da tutte le direzioni, e quindi anche la radiazione

diffusa. Per questo motivo possono quindi essere stazionari. Tuttavia presentano alte perdite di calore per via delle loro dimensioni. A causa di queste dispersioni la loro efficienza decresce significativamente all'aumentare della temperatura di lavoro.

I concentratori solari ad immagine focalizzata (come i concentratori ad assorbimento) hanno invece una ridottissima superficie di assorbimento e quindi minori dispersioni. Tuttavia hanno lo svantaggio di avere un minore angolo di visuale e richiedono quindi un sistema di movimentazione che consenta di inseguire la sorgente solare. Per lo stesso motivo raccolgono solo una piccola frazione di radiazione diffusa.

I collettori CPC possono essere disegnati in modo da concentrare la radiazione solare con un fattore variabile fra 1 e 2 e raccogliere allo stesso modo una maggiore frazione di radiazione diffusa.

Il principio del CPC può essere applicato per ottenere diversi livelli di concentrazione variabili fra a bassa e ad alta concentrazione.

In un collettore CPC assorbente non è più piano, ma ha una forma cilindrica. Con l'impegno di un trattamento selettivo sull'assorbitore, il collettore si comporta come un collettore solare piano molto efficiente. Se si aumenta ulteriormente il rapporto di concentrazione e si adottano misure per limitare le dispersioni termiche il collettore può raggiungere prestazioni molto elevate.

La perdita per convezione possono essere ridotte, ad esempio, usando materiali isolanti trasparenti (TIM) al posto del vetro e nell'intercapedine. Questo collettore può funzionare molto bene in applicazioni come il solar cooling, dissalazione ed altri processi industriali con temperature che possono superare i 100°C. I collettori CPC possono essere realizzati al costo di un buon collettore piano convezionale, installati come un collettore piano e avere lo stesso livello di durabilità.

Il CPC a bassa concentrazione è anche applicato a collettori di tipo evacuato.

Recentemente è stato presentato un collettore evacuato con l'assorbitore realizzato anch'esso in vetro con una potenziale riduzione dei costi e un incremento della durata. Un'altra interessante variante è quella dei tubi Dewar. Due tubi concentrici di vetro sono utilizzati e nello spazio fra di essi viene creato il vuoto.

Un altro innovativo collettore evacuato è l'integrated compound parabolic collector (ICPC). In questo collettore nella parte inferiore del tubo viene fissato un materiale riflettente.

Questo collettore combina i pregi dei collettori evacuati a quelli dei collettori a concentrazione a stazionari. Dei collettori ICPC dotati di sistemi di inseguimento sono stati realizzati per applicazioni ad alta temperatura.

I collettori ad aria hanno caratteristiche costruttive simili a quelle dei normali pannelli vetrati, tranne per il fatto che in

A&RT

essi circola aria anziché acqua. Tali sistemi sono paragonabili ai sistemi solari a liquido. Le differenti proprietà fisiche dei due fluidi comportano diversità delle applicazioni e delle tipologie di impianto.

L'aria circola tra vetro e assorbitore o, in alcuni casi, in una intercapedine ricavata tra l'assorbitore ed il fondo isolato del collettore. Poiché l'aria scambia calore con più difficoltà dell'acqua affinché questa assorba il calore della radiazione incidente (il coefficiente di scambio termico convettivo aria-piastra, a parità di numero di Reynolds, è circa 50 volte più piccolo di quello dell'acqua) occorre assicurarle un tempo di permanenza abbastanza lungo all'interno del pannello. Per questo motivo l'assorbitore è alettato e offre percorsi tortuosi che rallentano il flusso d'aria. L'impiego di questi collettori, integrato con i tradizionali impianti termici, è particolarmente adatto per il riscaldamento degli edifici o per essiccare prodotti alimentari.

Questo tipo di collettore ha una struttura essenzialmente analoga a quelli funzionanti con fluido liquido, presentando però valori più elevati della superficie di passaggio nei singoli condotti dell'assorbitore. Il fattore di rimozione termica resta però ridotto a causa del basso coefficiente di convezione dell'aria in confronto a quello dell'acqua. A causa di ciò i collettori ad aria presentano, a parità di temperatura all'ingresso, un'efficienza minore rispetto a quelli ad acqua.

D'altra parte, nei sistemi ad aria il calore prodotto viene direttamente utilizzato senza l'impiego di scambiatori intermedi, così da permettere delle temperature operative più basse in applicazioni quali il riscaldamento ambientale. Infatti, l'aria, considerando il suo ridotto calore specifico rispetto all'acqua, raggiunge in un solo passaggio temperature sufficienti per l'immissione.

Tra i principali vantaggi dei sistemi solari funzionanti ad aria vi è sicuramente la semplicità del sistema unita ai minori problemi di sicurezza (il fenomeno della stagnazione non richiede sistemi di protezione). Inoltre, non si verifica corrosione dei condotti e la vita media dell'impianto è superiore rispetto ai sistemi a liquido.

Di contro la superficie captante e il diametro dei condotti sono maggiori rispetto ad un sistema a liquido per effetto della bassa capacità termica e della bassa conduttività dell'aria. Inoltre gli accumuli termici sono più costosi e molto più problematici rispetto ai sistemi a liquido.

Una soluzione interessante che permette di coprire parzialmente, ma in alcuni casi anche totalmente, i consumi elettrici dell'impianto è la cogenerazione solare ovvero la contemporanea produzione di calore ed elettricità da fonte solare tramite l'impiego di collettori solari ibridi ad aria parzialmente rivestiti da celle fotovoltaiche.

Il sistema ibrido prevede la retroventilazione forzata o naturale dei moduli fotovoltaici al fine di recuperare l'energia termica prodotta dal riscaldamento delle celle

fotovoltaiche e mantenerne bassa al contempo la temperatura di lavoro all'aumentare della quale si ha una diminuzione del rendimento di conversione elettrica. Utilizzando l'aria come fluido termovettore, infatti, il calore generato dal surriscaldamento delle celle viene asportato raffrescando il laminato fotovoltaico, mentre l'aria calda può essere trasportata ed impiegata per la climatizzazione dell'edificio. Le rese in termini di temperature raggiunte in uscita dal pannello solare sono minori all'aumentare del grado di copertura della lastra vetrata con celle fotovoltaiche.

3. Accumulo termico con tecniche e materiali innovativi

L'accumulo di calore incrementa l'uso che può farsi della risorsa solare disaccoppiando la domanda dalla disponibilità istantanea di radiazione. Accumulare calore per una o due settimane è ormai una pratica comune con costi accettabili e dispersioni limitate. Diverse soluzioni per l'accumulo termico per periodi più lunghi (settimane o mesi) hanno permesso di utilizzare il calore accumulato in estate anche nella stagione invernale. Tuttavia queste tecniche sono ancora allo stato iniziale. Solo quando gli accumuli stagionali saranno ampiamente disponibili a basso costo sarà possibile raggiungere gli obiettivi ambiziosi delineati in premessa corrispondenti al 100% di frazione solare per la climatizzazione degli edifici di nuova costruzione. I parametri importanti da considerare in un sistema di accumulo sono: il costo, la capacità, la potenza di carico e scarico, l'ingombro, il tempo fra carico e scarico, la trasportabilità, la sicurezza e l'integrabilità nell'edificio.

Gli accumuli a breve termine hanno tempi di reazione bassi e devono cedere rapidamente il calore avendo anche ridotte capacità.

Gli accumuli a medio termine lavorano su tempi dell'ordine del giorno in su.

La dimensione del serbatoio dipende dal calore specifico del mezzo utilizzato. L'accumulo con acqua richiede volumi significativi per quantità di calore relativamente basse. Ad esempio, per coprire interamente la domanda di acqua calda sanitaria e di riscaldamento per un appartamento ben isolato del centro Europa sarebbero necessari circa 30 m³ di serbatoio a 85 °C equivalenti a circa il 10% del volume utile di una abitazione.

La dimensione degli accumuli necessari rende spesso difficile utilizzare pienamente il calore in inverno. Lo sviluppo di nuovi accumuli termici compatti a scala stagionale aprirebbe scenari di mercato di rilevantissima importanza. Un altro parametro importante è la temperatura di accumulo. Accumuli a bassa temperatura (<100°C) sono utilizzati per riscaldare ambienti a temperature fra 20 e 24°C. Ciò comporta elevate dispersioni e inefficienze. Accumulando il calore a temperature più basse si potrebbe certamente più agevolmente allungare il tempo di residenza

fino addirittura a qualche mese. Infine, il tema dell'accumulo termico include anche l'accumulo di freddo. Includere accumuli di freddo in sistemi di refrigerazione solare è certamente una pratica interessante.

L'impegno di sistemi di accumulo termico latente è certamente la più promettente al fine di superare molti dei limiti dell'accumulo di calore sensibile. Con questa tecnica il calore è accumulato durante il cambiamento di fase del mezzo utilizzato, sia in condensazione che in evaporazione. I materiali più comunemente impiegati per le basse temperature di interesse nelle applicazioni a scala di edificio prendono il nome di PCM ovvero Phase Changing Materials. In funzione dell'intervallo di temperatura questo tipo di accumulo è molto più compatto dell'equivalente che impiega acqua.

Questa tecnica presenta una grande potenzialità anche per l'accumulo di calore prodotto da collettori solari ad aria.

Nel caso di collettori ad aria si sono realizzati anche prototipi con accumulo termico integrato.

4. Integrazione architettonica degli impianti solari termici

Sul versante dell'integrazione architettonica dei collettori solari esiste ancora un notevole potenziale di sviluppo di componenti e di sistemi. Mentre per la tecnologia fotovoltaica, anche in ragione della maggiore facilità di realizzazione delle connessioni elettriche, esistono ormai numerose soluzioni, per la componentistica termica la problematica risulta spesso irrisolta.

Un comune pannello solare termico ha una superficie variabile tra 0,5 e 2 m², uno spessore di circa 10-15 cm ed il suo peso intorno ai 20 kg/m² (cui va aggiunto il peso del liquido circolante). Nei sistemi a circolazione forzata è possibile trovare buone soluzioni per l'inserimento del collettore in sistemi di copertura a falda con coppi, in modo da rispettare il filo del piano esterno. Ma una reale e completa integrazione dell'intero sistema non è di fatto mai stata proposta. I sistemi a circolazione naturale, il cui serbatoio deve essere installato ad una quota superiore a quella del pannello e risulta spesso visibile, presentano una notevole invasività raramente mitigata dal design di qualità del componente.

Oltre al collettore di dimensioni standard esistono in commercio anche collettori di grandi dimensioni, particolarmente adatti all'integrazione architettonica. I pannelli solari di grandi dimensioni (*Roof Module Collectors*) possono essere realizzati a piè d'opera o venire forniti prefabbricati e sono studiati per sostituire intere parti di coperture a falda. In questo modo, al posto del manto di copertura in tegole, viene applicato un pannello di grandi dimensioni che svolge contemporaneamente la funzione tradizionale di isolamento termico e protezione dalle intemperie e quella energetica di produzione di acqua calda sanitaria. Il vantaggio è quello di installare un sistema

di captazione già assemblato, con una notevole riduzione di tempi e costi ed una migliore garanzia di integrazione nell'involucro. Nonostante le forti potenzialità, bisogna tuttavia denunciare un'attuale scarsa diffusione di queste tipologie nel contesto italiano. Altri sistemi integrati consentono di realizzare coperture che includano componenti attivi di diversa tipologia (collettori ad aria, ad acqua e pannelli fotovoltaici). Un esempio è il Tetto Integrato Solare prodotto da Secco e installato al Centro Ricerche Fiat di Orbassano.

Anche nelle facciate ventilate è possibile realizzare veri e propri sistemi di captazione della radiazione solare configurabili come collettori ad aria.

Molte facciate ventilate sono progettate per questo scopo.

Altri esempi di elementi "multifunzionali" sono:

- tubazioni dell'acqua che possono avere anche funzioni strutturali;
- collettori di facciata che riducono le dispersioni termiche, garantiscono ombreggiamento e non ultimo captano e accumulano energia solare termica;
- elementi di copertura che proteggono l'edificio, ombreggiano, possono far passare la luce e integrare pannelli solari termici e fotovoltaici;
- sistemi murari che agiscono come componenti solari passivi;
- collettori con funzioni di parapetto, elementi di ombreggiamento, elementi di facciata semi-trasparente. Esistono anche collettori solari integrati/nascosti nel colmo di una copertura a falda, sviluppati prevalentemente per nascondere l'installazione e per non impedire l'uso del tetto, per esempio l'apertura di lucernai.

5. Solar Cooling

Le più promettenti innovazioni nel campo dello sfruttamento della tecnologia solare termica a scala di edificio sono quelle mirate a garantire un uso esteso anche nella stagione estiva degli impianti, migliorando anche la resa economica dell'investimento.

D'altra parte, a causa di una richiesta sempre maggiore di comfort ambientale, la domanda di energia per il condizionamento estivo degli ambienti è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni ed il trend è ancora fortemente in crescita.

Negli ultimi anni, ed in particolare nell'ultimo decennio, diverse attività di ricerca e sviluppo tecnologico si sono così focalizzate sullo studio di processi per il condizionamento degli edifici basati su tecnologie innovative che utilizzano l'energia solare.

Il principio generale di funzionamento di un impianto di solar cooling si basa sull'uso del calore prodotto da un impianto solare termico come input energetico di un sistema di condizionamento. Ciò è reso possibile grazie all'introduzione di particolari cicli frigoriferi alternativi a

A&RT

quelli a compressione di vapore che richiedono lavoro meccanico.

L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria negli edifici costituisce una soluzione tecnica dal punto di vista energetico molto interessante, vista anche la coincidenza della domanda di raffrescamento degli ambienti con la maggiore disponibilità di energia solare.

L'impianto solare, essendo dimensionato anche per far fronte alle esigenze di riscaldamento nella stagione invernale, permette in tal modo una diminuzione della spesa energetica durante tutto l'arco dell'anno.

Fra le tecnologie utilizzabili, quelle con maggiore prospettiva e che già si presentano nel mercato sono quelle delle macchine ad assorbimento a ciclo chiuso e dei sistemi desiccant cooling a ciclo aperto.

Una macchina ad assorbimento è un sistema a ciclo inverso che produce acqua refrigerata in cui è possibile utilizzare calore a bassa temperatura (80-120°C) come input energetico. I fluidi utilizzati come refrigeranti in un ciclo ad assorbimento sono diversi da quelli impiegati in un ciclo a compressione di vapore. In particolare le macchine disponibili sul mercato lavorano con miscele acqua-bromuro di litio o con acqua-ammoniaca. Macchine che usano coppie di lavoro differenti sono attualmente solo in fase di ricerca.

Nelle applicazioni di solar cooling sono generalmente impiegate macchine funzionanti con soluzione acqua-bromuro di litio, essendo in questo caso minori le temperature richieste al generatore rispetto al caso acqua-ammoniaca. Applicazioni con quest'ultima miscela sono comunque possibili con l'impiego di collettori solari a concentrazione o a tubi evacuati.

Nel condizionamento dell'aria assume spesso importanza il carico latente dovuto prevalentemente alla presenza di persone e a particolari attività come la cottura dei cibi o le essiccazioni. Tenuto conto inoltre del ricambio con aria esterna, la cui umidità specifica è normalmente più elevata di quella dello spazio condizionato, risulta necessario nella stagione estiva provvedere all'eliminazione di vapor d'acqua nel trattamento dell'aria.

Tradizionalmente la deumidificazione dell'aria viene effettuata tramite un raffreddamento della stessa al di sotto della sua temperatura di rugiada, richiedendo in generale un successivo postriscaldamento per ripristinare le condizioni termoigrometriche operative.

La deumidificazione dell'aria tramite adsorbimento sfrutta il processo fisico per cui le molecole del vapore d'acqua contenuto nell'aria si depositano sulla superficie

interna di un materiale ad elevata porosità che si trova allo stato solido o liquido, tipicamente il gel di silicio o il cloruro di litio. Questo processo è reversibile, ovvero il fluido refrigerante può essere nuovamente rimosso tramite un processo di rigenerazione del materiale adsorbente. A tal fine è richiesta energia termica a temperatura dell'ordine di 45-95°C che può essere fornita ad esempio da un impianto solare o di cogenerazione. La deumidificazione dell'aria effettuata tramite l'utilizzo di materiali adsorbenti consente di evitare la fase di postriscaldamento nel trattamento dell'aria di condizionamento, ottenendo in tal modo un vantaggio energetico apprezzabile. Il sistema di deumidificazione più largamente impiegato nelle unità di trattamento aria di sistemi desiccant cooling è la ruota deumidificante ovvero un dispositivo rotante costituito da un cilindro formato da strutture concentriche di supporto di sostanze deumidificanti, siano esse assorbenti come il cloruro di litio, o adsorbenti come il gel di silicio.

Entrambe i sistemi sono applicabili anche in installazioni di piccola potenza e con superfici di collettori abbastanza contenute (fra 3 e 5 m² di collettore per ogni kW frigorifero installato).

Purtroppo i costi di tali sistemi sono ancora lontani dalla competitività economica. Ci si augura che una politica di supporto possa favorire una maggiore diffusione nel mercato e una conseguente riduzione dei costi. Il potenziale di riduzione dei costi è infatti molto elevato. Altre barriere non economiche da considerare sono: mancanza di know-how diffuso nei tecnici e negli utenti, problemi di affidabilità e di efficienza dei sistemi se non progettati e realizzati a regola d'arte.

Bibliografia

ESTIF, European Solar Thermal Industry Federation, *Solar Thermal Markets in Europe - Trends and Market Statistics 2009*, June 2010

European Commission, *Renewable Energy Action Plans NREAPs*, Decisione della Commissione Europea del 30 giugno 2009 Establishing a template for National Renewable Energy Action Plans under Directive 2009/28/EC, Bruxelles 2009

ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation, *Potential of solar thermal in Europe, UE Project RESTMAC*, 2010
IEA, International Energy Agency, *Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2008*, SHC - *Solar Heating and Cooling Programme*, Edition 2010

Prospettive di sviluppo degli impianti solari fotovoltaici

Advances on photovoltaic systems

**STEFANO FISSOLO, SERENA DAMIANO, ALICE MORRA,
MARCO RINALDI**

Nel presente articolo vengono presentate le caratteristiche di un impianto fotovoltaico, da quelli a terra di grandi dimensioni a quelli integrati negli edifici, analizzando lo stato dell'arte della tecnologia, il contesto normativo, le applicazioni innovative e la mitigazione ambientale degli impianti. Particolarmente importante appare il futuro del BIPV (Building Integrated Photovoltaic).

This paper discusses the characteristics of a photovoltaic systems, both the large ones that are ground-mounted and the building integrated ones, analyzing the state of the art, the regulatory framework, the innovative applications and the environmental mitigation measures. Particularly important is the future of BIPV (Building Integrated Photovoltaic).

Stefano Fissolo, ingegnere, Solesa s.r.l.

Serena Damiano, architetto, Solesa s.r.l.

Alice Morra, architetto, Solesa s.r.l.

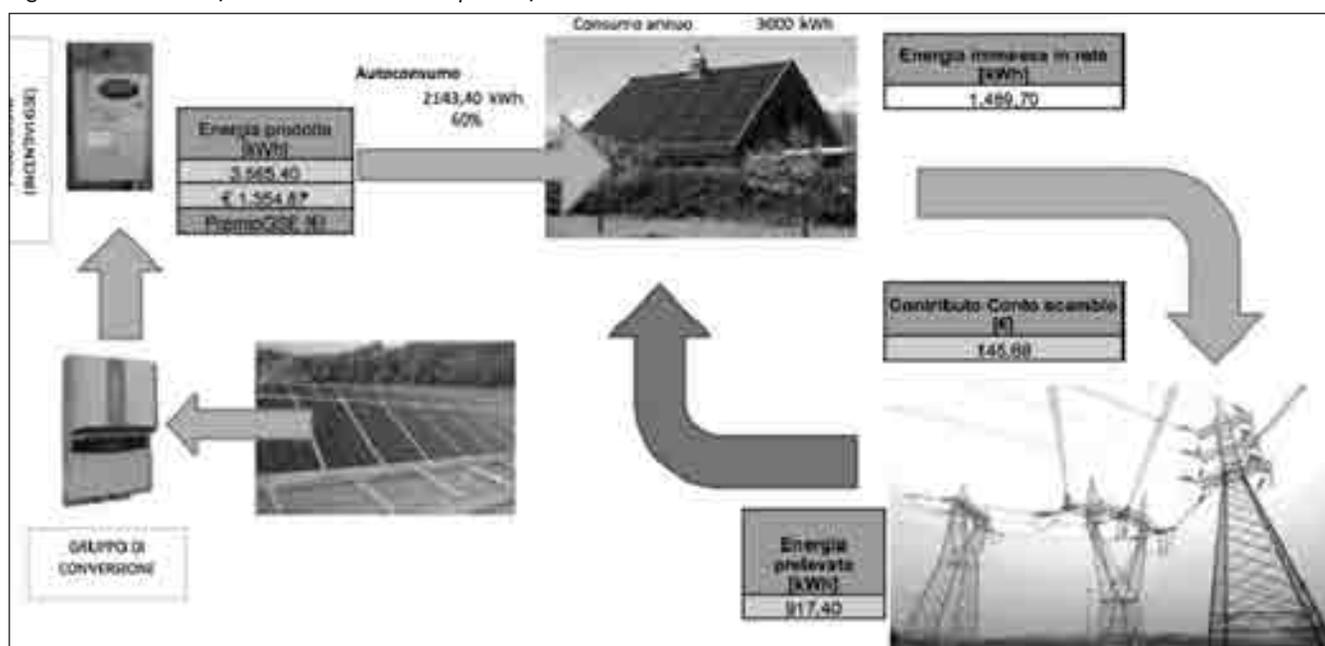
Marco Rinaldi, ingegnere, Solesa s.r.l.
stefano.fissolo@solesa.eu

Introduzione

Solesa è attiva nello sviluppo di autorizzazioni di centrali fotovoltaiche a terra e in copertura e nella costruzione chiavi in mano (*EPC contractor*) di impianti per i mercati residenziale e industriale.

La progettazione (elettrica, architettonica e ambientale) rappresenta il cuore dell'attività di Solesa con un portfolio di oltre 150 MWp di potenza. Dalla fine del 2010 Solesa è inoltre impegnata nel finanziamento e nella costruzione di centrali fotovoltaiche a terra per diventare un produttore di energia (*Independent Power Producer*).

Figura 1. Schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico.



A&RT

1. Prospettive di sviluppo degli impianti solari fotovoltaici

1.1. Introduzione: funzionamento di un impianto

Il funzionamento di un impianto fotovoltaico è schematizzato in Figura 1. Grazie all'effetto fotovoltaico le celle solari producono energia elettrica quando sono investite da onde elettromagnetiche di particolare frequenza (la luce visibile). I moduli costituiti dalle celle producono corrente continua che viene trasformata in corrente alternata da un gruppo di conversione.

A valle del gruppo di conversione viene posto un contatore di produzione che contabilizza l'energia prodotta valorizzandola con la tariffa incentivante che la legislazione italiana riconosce alle fonti rinnovabili. Quando l'impianto è allacciato alla rete tramite un contatore in prelievo di un edificio circa il 60% della produzione energetica viene autoconsumata istantaneamente andando a ridurre la richiesta per la rete di distribuzione. L'energia eccedente i consumi viene ceduta alla rete e può essere o valorizzata come vendita oppure memorizzata tramite il contatore di scambio per poi essere scambiata con l'energia prelevata di notte.

In un'applicazione domestica dove i consumi annui sono dell'ordine di 3000 kWh i numeri in gioco sono i seguenti (ipotizzando un irraggiamento pari a quello del territorio torinese):

- produzione impianto fotovoltaico: 3565 kWh;
- autoconsumo: 2143 kWh;
- vendita in rete: 1489 kWh;
- prelievo: 917 kWh.

1.2. Gli attori e i numeri del mercato

Nel mercato fotovoltaico si possono distinguere due segmenti diversi: la produzione manifatturiera dei moduli e la costruzione e la gestione degli impianti.

Per la fabbricazione dei moduli fotovoltaici, occorre partire da un materiale semiconduttore di particolare purezza,

tipicamente il silicio cristallino solar grade. Dal blocco di silicio vengono poi prodotti dei lingotti, tagliati in modo particolare per ottenere delle fette chiamate wafer (simili a quelli usati nell'elettronica).

I wafer sono trasformati in celle solari mediante processi chimico fisico simili a quelli che portano alla produzione di microchip. Il successivo assemblaggio delle celle e la realizzazione dei contatti portano all'ottenimento di un modulo fotovoltaico.

Il prezzo del modulo oggi (inizio aprile 2011, ndr) è dell'ordine di grandezza di 1,5 € ogni Watt di potenza (un modulo tipico ha una potenza nominale di 230W). Il costo della cella contribuisce per più del 65%, del costo finale.

Nel 2010 sono state fabbricate 27 GW di celle fotovoltaiche in grado di produrre più di 27 TWh di elettricità all'anno, equivalenti alla produzione di tre centrali nucleari di grandi dimensioni. Si è registrato un incremento del 118% rispetto al 2009 (vedi Figura 2) e la produzione cinese ha quasi raggiunto il 50% della produzione mondiale. Le dieci società più grandi controllano il 40% del mercato, con un forte trend di consolidamento degli attori. L'investimento totale in un impianto fotovoltaico è in media inferiore a 3 € per W di potenza installata, l'acquisto di moduli e inverter contribuisce per il 70% dell'investimento. Nella costruzione e gestione dei grandi parchi solari si possono evidenziare quattro ruoli principali:

- sviluppatore (*License Developer*): è l'attore che si occupa di identificare e acquisire il sito adatto per l'impianto, ottiene tutte le pratiche autorizzative a livello comunale, provinciale, regionale, cura la pratica di connessione alla rete elettrica e tutto il progetto preliminare (architettonico, elettrico e ambientale);
- realizzatore chiavi in mano (*EPC Contractor*): cura la progettazione esecutiva, l'acquisto dei materiali opportuni, e coordina l'installazione. Inoltre generalmente si

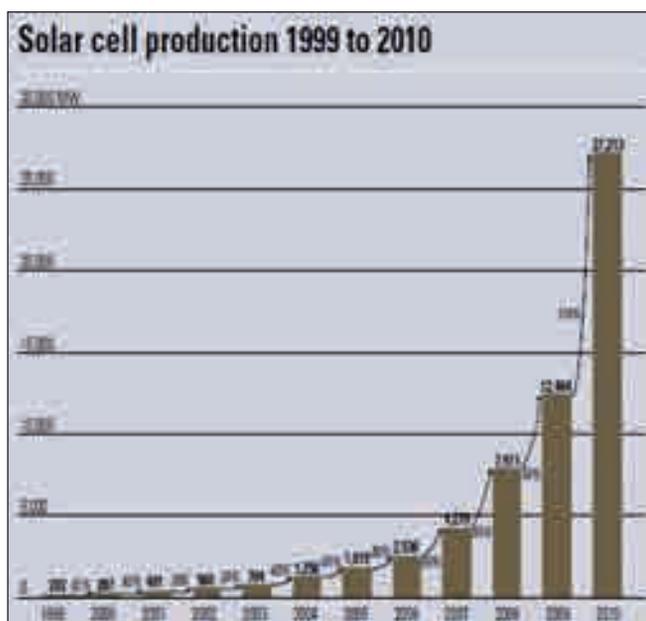
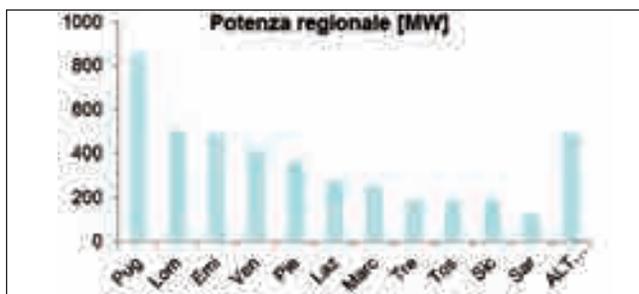


Figura 2. Andamento della produzione di celle solari dal 1999 al 2010.

Figura 3. Potenza installata per regione.



occupa della connessione alla rete elettrica in bassa o media tensione e cura l'ottenimento della tariffa incentivante;

- investitore (in inglese anche *Independent Power Producer*): finanzia la costruzione dell'impianto in tandem con gli istituti di credito e si occupa della gestione economica e finanziaria della produzione di energia;
- manutentore (*Operations & Maintenance contractor*): gestisce l'operatività dell'impianto per ottimizzare la produttività in termini di resa e continuità. Spesso questo ruolo è assunto dalla ditta costruttrice specialmente nei primi anni di vita dopo l'avviamento.

Da un punto di vista di distribuzione geografica, l'Italia rappresenta il secondo più importante mercato mondiale, dopo la Germania. Alla data di oggi (inizio aprile 2011,

ndr) risultano in esercizio più di 188.000 impianti per una potenza installata di 4,4 GW. La stima del Gestore del Servizio Elettrico (GSE) per il volume di mercato 2010 è di 5,8GWp (contro i 7.1 GWp installati in Germania). Come si evince dalla Figura 3, la regione con più potenza installata è la Puglia seguita da Lombardia, Emilia Romagna, Veneto e Piemonte.

1.3. Stato dell'arte della tecnologia

I generazione, 1954 - Moduli a Silicio cristallino:

- costituiscono circa l'80% dei moduli presenti sul mercato;
- a seconda del tipo di Silicio usato vengono classificati in monocristallini e multicristallini; l'efficienza di conversione varia in media tra 14 e 19%.

II generazione, 1976 - Moduli a film sottile:

- costituiscono circa il 20% dei moduli presenti sul mercato,

	SETTEMBRE		OTTOBRE		NOVEMBRE		DICEMBRE	
	Impianti sugli edifici	altri impianti fotovoltaici						
	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]
1<P<3	0,361	0,316	0,345	0,302	0,320	0,281	0,298	0,261
3<P<20	0,325	0,289	0,310	0,276	0,288	0,256	0,268	0,238
20<P<200	0,307	0,271	0,293	0,258	0,272	0,240	0,253	0,224
200<P<1000	0,298	0,245	0,285	0,233	0,265	0,210	0,246	0,189
1000<P<5000	0,278	0,243	0,256	0,223	0,233	0,201	0,212	0,181
P>5000	0,264	0,211	0,243	0,212	0,221	0,191	0,199	0,172

Figura 4. Schema di incentivazione del Quarto Conto Energia.

		Dopo 1 anno	Dopo 20 anni
Investimento	(€)	276.000	276.000
Equity 20%	(€)	55.200	55.200
Produzione annua	(kWh)	118.640	2.205.135
Ricavo da incentivo	(€)	42.473	789.438
Ricavo da vendita energia	(€)	14.067	323.850
Ricavi totali	(€)	56.540	1.113.288
Spese annuali	(€)	4.000	100.000
Rata del mutuo	(€)	21.877	350.000
Tasse	(€)	5.000	212.000
Totale costi	(€)	30.877	662.000
Cassa generata	(€)	25.663	451.288
TIR	(%)	-	> 38%

Figura 5. Flusso di cassa esemplificativo per impianti in copertura da 100 kWp a Torino.

Orientamento moduli	Insolazione sul piano dei moduli
Tilt 33° Azimut 0°	1522 kWh/m2a
Tilt 15° Azimut 0°	1462 kWh/m2a
Tilt 0° Azimut 0°	1336 kWh/m2a
Tilt 15° Azimut 90°	1315 kWh/m2a
Tilt 33° Azimut 90°	1250 kWh/m2a
Tilt 33° Azimut 180°	908 kWh/m2a

Figura 6. Distribuzione dell'insolazione media annua nelle diverse zone d'Italia.

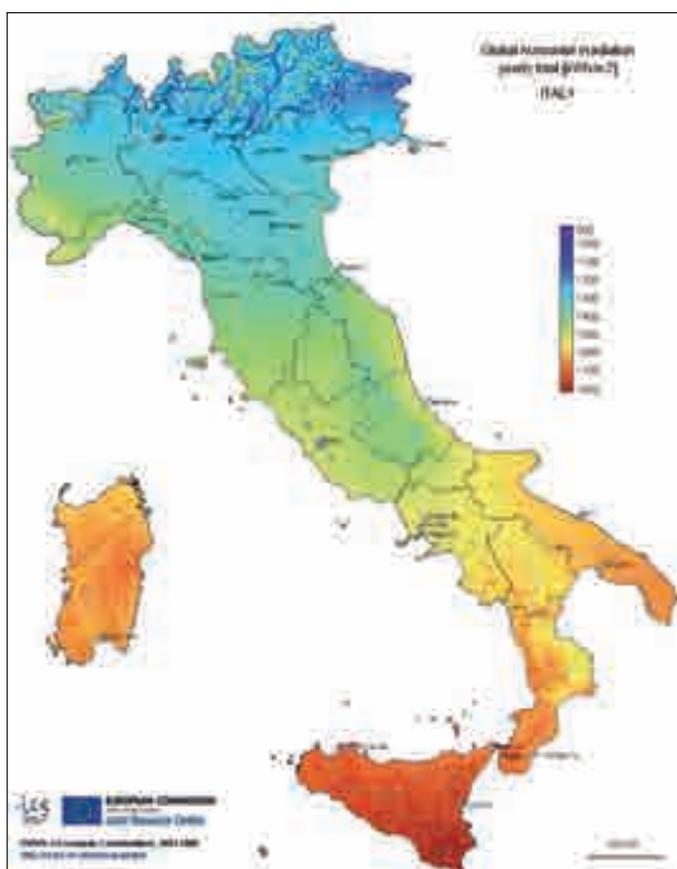


Figura 7. Variazione dell'insolazione sul piano dei moduli in funzione dell'orientamento e dell'inclinazione.

A&RT

- e hanno efficienze di conversione minori rispetto al silicio cristallino (6-12%);
- hanno un costo di fabbricazione vantaggioso perché l'utilizzo della materia prima si riduce di un fattore 100 rispetto all'uso del silicio cristallino;
- presentano maggiori prestazioni ad alte temperature e bassi livelli di irraggiamento rispetto al silicio cristallino;
- i moduli a film sottile si classificano a seconda del materiale usato (silicio amorfo, tellururo di cadmio, Copper Indium Gallium Selenide).

Ad oggi la differenza di prezzo tra i moduli a film sottile e i moduli cristallini non giustifica generalmente l'uso di questi ultimi se non in particolari applicazioni. L'incentivazione statale della produzione di energia solare in vari paesi ha permesso un aumento vertiginoso della domanda con l'instaurarsi di un effetto scala che ha portato il prezzo dei moduli a diminuire del 20% al raddoppio della potenza installata. Nel 2009 il prezzo medio di un impianto fotovoltaico era più vicino al valore di 5 € per W mentre oggi assistiamo a un valore di 3 € per W. Nel 2011 il costo di un impianto fotovoltaico è inferiore al costo di un impianto nucleare.

1.4. Il fotovoltaico come investimento

Lo schema di incentivazione attualmente esistente in Italia (IV Conto Energia) è schematizzato nella Figura 4 per quanto riguarda la fine del 2011.

Le novità normative introdotte nel recente passato hanno portato a limitare fortemente lo sviluppo di nuovi grandi impianti a terra per favorire quelli in copertura, soprattutto gli impianti realizzati contestualmente alla bonifica di strutture con eternit. Rimangono incentivati anche gli impianti a terra su cave, discariche, terreni industriali, e terreni agricoli abbandonati da più di cinque anni.

La Figura 5 mostra il flusso di cassa esemplificativo per un impianto in copertura da 100 kW a Torino. L'impianto occupa una superficie di 800 m², ha i moduli orientati a sud con un'inclinazione di 20 gradi e ha avuto accesso alle tariffe di aprile 2011.

La produzione annua dipende dalla resa dell'impianto che a sua volta dipende da un numero di fattori geografici e di progetto, la sezione seguente fornisce un compendio delle nozioni principali.

Le spese annuali sono molto contenute e si riferiscono solo all'assicurazione RC e furto più un contratto di manutenzione.

1.5. La produzione energetica di un impianto

A parità di superficie a disposizione la potenza di picco installata in un impianto dipende dall'efficienza del modulo η_{STC} secondo la formula:

$$\eta_{STC} = \frac{P_m}{I_{STC} \times A_c}$$

Dove P_m è la potenza di picco, I l'irradianza in condizioni standard (1000W/m²), A_c l'area delle celle solari.

Per l'installazione su un tetto si considera un rapporto di 8 m² ogni kW di potenza, per l'installazione a terra si considera un rapporto di 20 m² ogni kW.

A parità di potenza installata la produzione energetica dell'impianto dipende dal *performance ratio* secondo la formula:

$$PR = \frac{I_{TOT} \times E_t}{G_t \times P_m}$$

Dove P_m è potenza di picco, I l'irradianza in condizioni standard (1000W/m²), G_t l'irraggiamento sul piano dei moduli (Wh/m²), E_t l'energia misurata dal contatore GSE.

Il Performance Ratio (PR) viene espresso in percentuale e definisce il rapporto derivante dal rendimento effettivo e il rendimento teorico dell'impianto fotovoltaico. Gli impianti fotovoltaici in media possono raggiungere un PR > 80%.

Oltre alla qualità dell'impianto, la produzione energetica dipende fortemente dall'irraggiamento ovvero dall'insolazione media annua in una località (espressa in Wh/m²), dall'orientamento e dall'inclinazione dei moduli. In Figura 6 si può apprezzare la distribuzione dell'insolazione media annua nelle diverse zone d'Italia, in Figura 7 viene mostrata la variazione dell'insolazione sul piano dei moduli in funzione dell'orientamento e dell'inclinazione. L'insolazione media annua sul piano dei moduli moltiplicata per il PR determina la resa dell'impianto in ore equivalenti di produzione o kWh/kW.

2. Dal concetto di integrazione parziale e totale al BIPV

Il calo dei prezzi dei moduli fotovoltaici, dovuto al crollo dei prezzi del silicio, ha reso ancora più conveniente, negli ultimi anni, la realizzazione di impianti fotovoltaici. In particolare gli edifici più alti, che hanno superfici di tetto troppo contenute per ospitare un numero sufficiente di moduli, possono contribuire a soddisfare il loro fabbisogno energetico solo trasformando le pareti dell'involucro edilizio in elementi generatori di energia.

Il concetto di impianto fotovoltaico parzialmente o totalmente integrato in architettura è stato introdotto nel Secondo Conto Energia.

I moduli fotovoltaici possono essere installati su tetti piani, a falde, pensiline, barriere acustiche senza sostituire il materiale da costruzione delle strutture stesse. Questo è il concetto dell'integrazione architettonica parziale.

Si ha invece integrazione architettonica totale quando il modulo fotovoltaico si trasforma in componente attivo dell'involucro edilizio e sostituisce i tradizionali materiali

da costruzione.

Il Terzo Conto Energia ha stravolto il concetto di integrazione architettonica abolendo la distinzione tra integrazione architettonica parziale e quella totale.

Inoltre il Quarto Conto Energia, approvato il 5 Maggio e pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 12 maggio 2011, prevede incentivi più alti per gli impianti fotovoltaici *con caratteristiche innovative integrati negli edifici*, che già nel precedente Conto Energia erano così definiti: «impianti fotovoltaici che usano moduli e componenti speciali, sviluppati specificatamente per sostituire elementi architettonici, e che rispondono a determinati requisiti costruttivi e modalità di installazione».

Per usufruire delle tariffe per «impianti integrati con caratteristiche innovative» i moduli e i componenti devono:

- 1) essere installati in sostituzione, con «design armonioso», di componenti architettonici degli edifici e svolgere una funzione di rivestimento di questi ultimi;
- 2) essere tutto ciò che segue:
 - a. moduli e componenti speciali, sviluppati specificatamente per integrarsi e sostituire elementi architettonici di edifici quali coperture, superfici opache verticali, superfici trasparenti o semitrasparenti sulle coperture;
 - b. moduli e componenti che abbiano significative innovazioni di carattere tecnologico;
 - c. moduli progettati e realizzati industrialmente per svolgere, oltre alla produzione di energia elettrica, funzioni architettoniche fondamentali quali:
 - i. protezione o regolazione termica dell'edificio non inferiore a quella del componente sostituito;
 - ii. tenuta all'acqua e conseguente impermeabilizzazione della struttura edilizia sottesa;
 - iii. tenuta meccanica comparabile con l'elemento edilizio sostituito.

L'acronimo BiPV (Building Integrated Photovoltaics) si riferisce a sistemi nei quali l'elemento fotovoltaico assume, oltre alla funzione di produzione di energia elettrica, il ruolo di elemento da costruzione. In questi ultimi anni l'integrazione in architettura dei moduli sta evolvendo rapidamente e i nuovi prodotti, sono sempre più in grado di sostituire integralmente alcuni componenti edilizi.

Essendo contemporaneamente parte dell'involucro edilizio e generatore di energia, i sistemi BiPV permettono di ridurre i costi d'investimento iniziali in quanto sia il materiale che la manodopera necessari alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono minori rispetto ad un'esecuzione tradizionale dove i moduli fotovoltaici non rimpiazzano i tradizionali elementi costruttivi.

2.1. Applicazioni innovative

Le applicazioni innovative finalizzate all'integrazione architettonica godono di una specifica tariffa incentivante con l'obiettivo di trasformare il modulo fotovoltaico da



Figura 8. Lucernario fotovoltaico trasparente: le scatole di derivazione e i cavi sono nascosti dentro la struttura di supporto (Onyx Solar).



Figura 9. Moduli fotovoltaici semitrasparenti (Onyx Solar).



Figura 10. Facciata ventilata fotovoltaica (Onyx Solar).

A&RT

semplice generatore di energia a componente espressiva dell'involucro edilizio.

Sul piano tecnologico il Quarto Contro Energia apre ottime prospettive per le soluzioni di integrazione architettonica innovativa. Nel variegato panorama dei produttori di sistemi innovativi la società spagnola Onyx Solar sviluppa materiali da costruzione fotovoltaici integrati, Building Integrated Photovoltaics – BIPV, utilizzati in sostituzione dei materiali tradizionali come coperture, lucernai, finestre, facciate, combinando la produzione fotovoltaica e l'ottimizzazione termica dei singoli elementi edilizi in un impianto fotovoltaico multifunzionale ad alte prestazioni.

2.1.1. Vetro fotovoltaico colorato

Il vetro fotovoltaico offre un'ampia gamma di combinazioni di colore, grado di trasparenza e spessore rendendo così molto versatile l'applicazione in architettura.

2.1.2. Vetro di sicurezza laminato fotovoltaico

Il laminato del vetro è composto da diversi strati di vetro legati da uno strato intermedio di EVA o PVB.

Lo spessore delle lastre, che eventualmente possono essere temperate e possono fornire diversi gradi di isolamento termico, può variare da 3, 6, 10, 12 o 19 mm.

Il vetro stratificato di sicurezza è testato per resistere agli urti e alle azioni sismiche e trova applicazione nella realizzazione di facciate fotovoltaiche ventilate e coperture.

2.1.3. Solar Ivy – Edera fotovoltaica

Solar Ivy è costituita da una serie di celle fotovoltaiche

stampate con inchiostro conduttivo per sembrare foglie. Ideate per essere applicate sui fianchi degli edifici come l'edera, le "foglie" generano energia sfruttando l'effetto fotovoltaico. Il progetto nasce dall'idea sviluppata da Samuel Cochran per la sua tesi di laurea nel 2005, con sua sorella, Teresita Cochran, e dalla collaborazione con Sustainably Minded Interactive Technology SMIT.

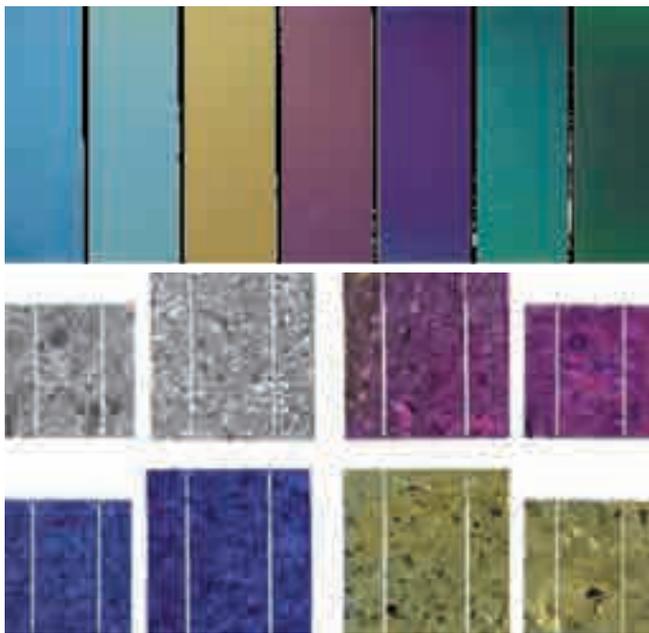
La prima versione di Solar Ivy è caratterizzata da foglie con una base di polietilene riciclabile, sulla quale sono incollate le celle solari a film sottile: questa tecnologia sfrutta la deposizione di un sottilissimo strato di materiali semiconduttori per la realizzazione della cella fotovoltaica. Le foglie sono disponibili in diversi colori in base alle esigenze estetiche e di integrazione nell'edificio. Alla generazione fotovoltaica è stata integrata anche quella eolica mediante un dispositivo piezoelettrico, che trasforma l'energia generata dal movimento delle foglioline in elettricità. Una casa, coperta da 500 foglie, dovrebbe generare 250 Watt di potenza.

Il progetto, ancora allo stadio di prototipo, ha già ricevuto un grosso consenso, tanto da essere inserito nel catalogo della celebre esposizione "Design and the Elastic Mind" organizzata nel 2008 da Paola Antonelli al Moma di NY.

3. Il rapporto con il paesaggio: la mitigazione ambientale

Il progetto di mitigazione di un parco fotovoltaico si inserisce in un contesto paesaggistico fortemente caratterizzato dal contorno vegetazionale, sovente di tipo agricolo. Lo

Figura 11. Celle colorate in silicio monocristallino e policristallino
Figura 12. Applicazione di Solar Ivy.



stato dei luoghi rende unico il disegno e conferisce suggestioni alla lettura geologica e morfologica del territorio. Il disegno può assumere differenti percorsi, le essenze arboree sono per lo più autoctone a bassa o nulla manutenzione e le interazioni tra tecnologia fotovoltaica e natura può coinvolgere molteplici aspetti.

Il parco si configura come luogo aperto al pubblico di valenza ambientale-naturalistico capace di ospitare fauna locale e specie migratorie, ma anche didattica-ricreativa, immaginando l'uso del verde intrecciato a percorsi ciclo-pedonali e luoghi di sosta arricchiti da interventi di land-art e aree di informazione sui temi della sostenibilità ambientale dell'energia solare.

Solar architecture is not about fashion. It is about survival.

Sir Norman Foster

Sitografia

www.s-m-i-t.com

www.onyx-solar.com

www.bipv.ch

Figura 13. Applicazione di Solar Ivy.



Figura 14. Solar Ivy.

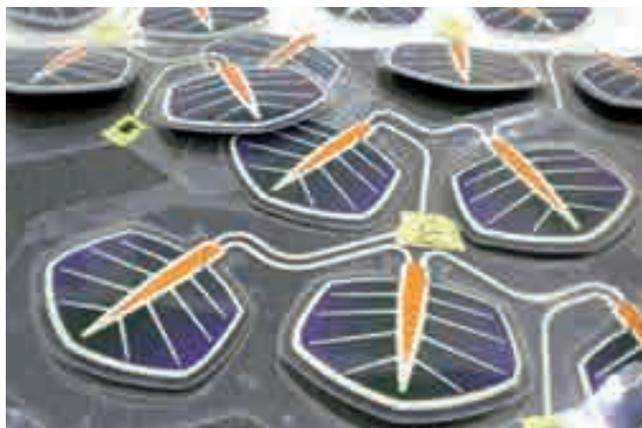


Figura 15. Studio di fascia di mitigazione ambientale.



La sfida della domotica

The challenge of home automation

GIANLUCA DHO

Gianluca Dho, ingegnere informatico, socio e amministratore della BIG srl, società specializzata nella realizzazione di sistemi di domotica e building automation evoluti e nella realizzazione di software per ambienti di domotica e building automation.
gianluca.dho@big srl.it

Questo articolo propone una breve introduzione alla domotica e “building automation”, tecnologia in rapida affermazione negli ultimi anni, e illustra una prima classificazione dei sistemi, delle tecnologie e della situazione attuale a livello italiano e internazionale

This paper proposes a brief introduction to home and building automation, a technology who had a rapid growth in recent years, and shows a first classification of systems, technologies and current situation in Italy and other countries.

La domotica rappresenta un’innovazione al tempo stesso tecnologica e culturale di grande importanza, visto che rivede la concezione tipica degli impianti in un’abitazione e in un edificio, concezione finora troppo statica, in particolare nel panorama italiano degli ultimi decenni.

Questa innovazione porta come conseguenza un nuovo modo di vedere gli impianti, con nuove metodologie da seguire per la progettazione, per l’installazione, per la gestione di un immobile, e in particolare introduce alcuni termini nuovi come la configurazione e la supervisione di un edificio.

Provando a fornire una prima classificazione dei sistemi di automazione degli edifici possiamo cercare di valutare in base alla tipologia di impianto le caratteristiche di questi sistemi (Tabella 1).

Appare già evidente da questo primo basilare schema come ogni tipo di edificio vada valutato e affrontato con gli strumenti più adeguati al fine di raggiungere gli obiettivi di automazione desiderati.

Lo studio di un progetto domotico deve comprendere alcune importantissime valutazioni che non possono essere assolutamente trascurate, come la scelta delle tecnologie da utilizzare, le predisposizioni necessarie per una corretta esecuzione del cablaggio e per potenziali successive espansioni, la definizione del livello prestazionale che si vuole raggiungere per ottenere un compromesso ottimale tra prezzo e prestazioni, la progettazione dell’impianto domotico con caratteristiche differenti da quelle di un impianto tradizionale e la stesura di documentazione impiantistica e di programmazione. Cambia così il concetto di impianto elettrico: l’impianto diventa una rete dati e non è più semplicemente un puro trasferimento di energia elettrica; nell’impianto viaggiano informazioni, esattamente come avviene in una qualsiasi rete, ancor prima che corrente elettrica vera e propria.

Uno dei principali vantaggi è che in questo modo la tensione 230V viene portata solo ove strettamente necessario aumentando di fatto in modo implicito la sicurezza dell’impianto. Un altro vantaggio fondamentale è che lo studio delle accensioni può essere posticipato alla fase finale del lavoro:

non è più necessario definire cablaggi e connessioni con varie modifiche nel corso della realizzazione dell'opera, ma tutto si riduce ad una programmazione dell'impianto riprogrammabile a piacere una volta completata la stesura dei cavi.

Purtroppo in Italia la crescita del mercato della domotica è stata ostacolata da diversi fattori che hanno portato, come conseguenza, un sostanziale ritardo rispetto alla crescita avvenuta nei paesi tecnologicamente più avanzati. Le principali cause sono state l'eccessiva staticità del mercato elettrico, la carenza di professionisti altamente specializzati, la troppa fantasia di alcuni costruttori e installatori italiani che hanno provato a introdurre sul mercato soluzioni quanto meno bizzarre e soprattutto inutili, un mercato troppo vasto e confusionario, e infine la gestione del mercato da parte delle principali industrie elettriche del settore, partner troppo parziali e interessati per portare a una crescita di base del settore.

Inoltre, non essendoci nemmeno una normativa adeguata in materia, gli interessi dei proprietari a medio e lungo termine poco hanno a che condividere con gli interessi di abbattimento dei costi iniziali delle strutture da parte dei costruttori, che spesso portano ad aumenti vertiginosi di gestione, manutenzione e variazioni nel corso del tempo. Sostanzialmente le motivazioni per cui realizzare un impianto di domotica e "building automation" sono spesso simili: la sicurezza, il comfort e il risparmio energetico sono le principali per tutte le tipologie impiantistiche.

Non essendo più la domotica una novità tecnologica degli ultimissimi anni, ma avendo già vissuto una prima fase di crescita nel decennio precedente, possiamo suddividere la crescita vista da questa tipologia di impianti in tre fasi (Tabella 2):

- una prima generazione in cui per domotica si intendeva semplicemente l'automazione di luci, clima, tapparelle, automazioni, scenari, videosorveglianza e audio video;
- una seconda generazione in cui sono stati introdotti concetti avanzati di controllo dei carichi e di efficienza energetica, oltre ad una tecnologia sempre più rivolta al monitoraggio e al risparmio dell'energia con sistemi di supervisione in grado di essere remotizzati a piacere;
- una terza fase di cui si è al momento solo agli albori con alcuni concetti innovativi di qualità della vita, di supervisione mobile sempre disponibile e di integrazione tecnologica totale di cui si prevede un rapido sviluppo nei prossimi anni.

Soprattutto in Italia e in particolare nel settore della "building automation", dove le tecnologie disponibili sono più spinte e aggressive dal punto di vista prestazionale, si è sempre puntato a un aumento di efficienza della singola tecnologia senza andare mai a ragionare sull'integrabilità dei sistemi disponibili, è ora che si inizi a pensare che l'efficienza energetica può essere raggiunta ad alti

	Domotica	Building automation	Home automation
Proprietario	Proprietario	Azienda	Alloggiato
Utente	Proprietario	Lavoratori	Clienti/Host
Responsabile	Proprietario	Building manager	Alloggiato
Motivazioni	Sicurezza Risparmio-energia Comfort Qualità della vita Prestigio	Sicurezza Efficienza energetica Controllo Efficienza economica	Sicurezza Risparmio-energia Controllo Efficienza economica
Personalizzazione	Alto	Medio	Basso

Tabella 1.

Generazione	Domotica
Prima generazione	Luci Clima Tapparelle Automazioni Scenari Videosorveglianza Audio/Video
Seconda generazione	Controllo carichi Efficienza energetica Risparmio Controllo a distanza
Terza generazione	Qualità della vita Supervisione mobile Integrazione totale

Tabella 2.

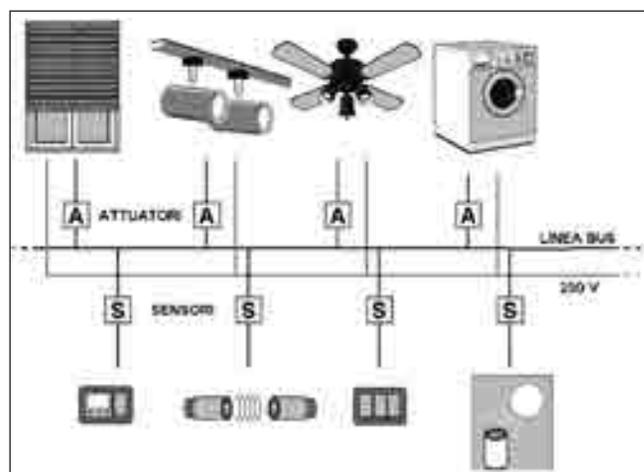


Figura 1. Esempio di architettura di un sistema BUS.

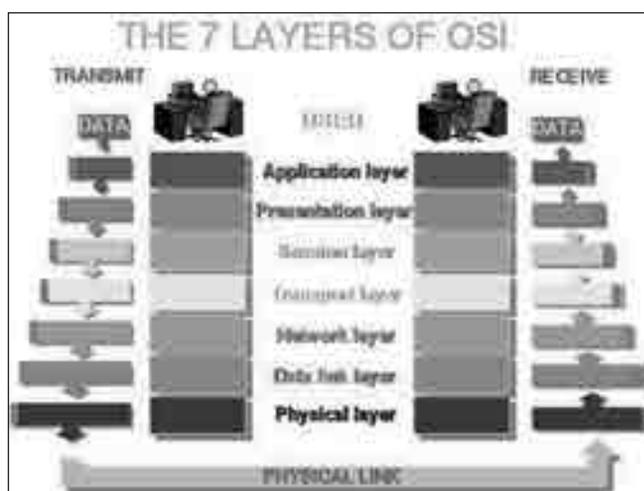


Figura 2. Schema del modello di classificazione dei dati in un sistema BUS.

A&RT

livelli solo se si ha una cooperazione tra le diverse tecnologie, e in particolare che si fornisca agli utenti un unico strumento di controllo anziché un insieme di pc su cui controllare solo un piccolo sottoinsieme di ogni struttura. Diventa così necessario il superamento della logica della sommatoria a comparti stagni degli impianti a favore della cultura dell'integrazione; è fondamentale l'utilizzo di un mezzo trasmissivo comune che colleghi i vari dispositivi dei singoli impianti o, dove questo non è possibile, almeno di un unico strumento di supervisione e controllo. In buona parte dei grandi edifici in cui si inizia comunque a utilizzare pesantemente tecnologie per la "building efficiency" ancora oggi si cerca poco l'integrazione totale, cosa che invece è molto importante a livello impiantistico per sistemi omogenei (ad esempio luci, climatizzazione, allarmi tecnici) mentre per sistemi eterogenei è utile poter effettuare l'integrazione a livello di supervisione o a controllori evoluti (ad esempio luci con audio/video). Il termine "domotica" riguarda un concetto talmente vasto che a oggi è impossibile pensare ad un'unica tecnologia in grado di risolvere intrinsecamente tutte le problematiche, in quanto, se si pensa alle esigenze di un sistema di automazione rispetto ad uno di audio/video o di sicurezza si può capire come sia impensabile al momento un sistema che possa rispecchiare tutte queste esigenze in

modo congiunto.

I sistemi di domotica fanno parte dei sistemi HBES (Home and Building Electronic systems). Il CENELEC dal 1987 ha costituito il comitato tecnico incaricato alla preparazione delle norme europee che regolano la regolamentazione dei sistemi di automazione delle case e degli edifici.

Relativamente alle tecnologie utilizzate si stanno diffondendo principalmente tre differenti tipologie di sistemi:

- sistemi a bus;
- sistemi basati su PLC;
- sistemi basati su processore.

I sistemi basati su PLC derivano da tecnologie di automazione industriale con un'elevata potenza di calcolo (persino eccessiva rispetto alle esigenze reali) ma trovano decisamente poca praticità nella stesura del cablaggio; i sistemi basati su processore sono essenzialmente sistemi specifici per certi tipi di automazione di edificio che derivano dal tipico approccio americano di domotica. Quindi, il mercato si sta orientando sui sistemi bus, dotati di intelligenza totalmente distribuita e particolarmente comodi dal punto di vista del cablaggio, l'intelligenza ridotta dei dispositivi non è un problema in quanto le automazioni necessarie per questo tipo di applicazioni non richiedono normalmente un livello prestazionale e di

Figura 3. Esempi di topologie di rete.

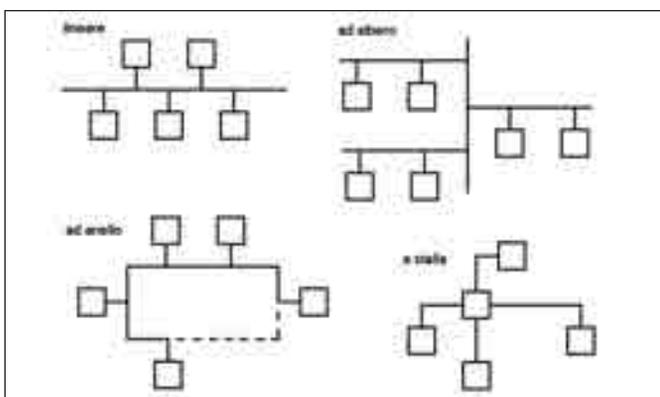


Figura 4. Diagramma funzionalità-costo di diverse tipologie di installazioni di impianti domotici.

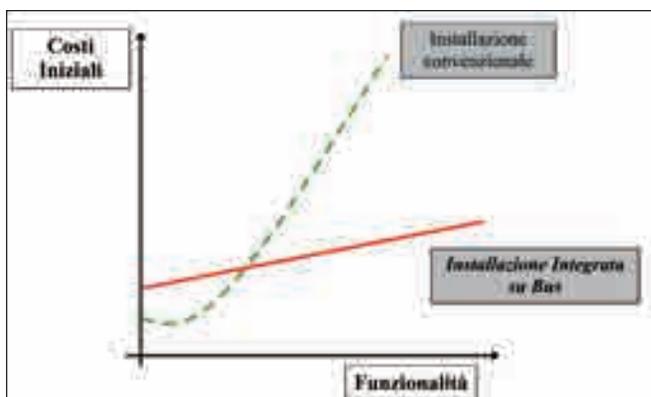
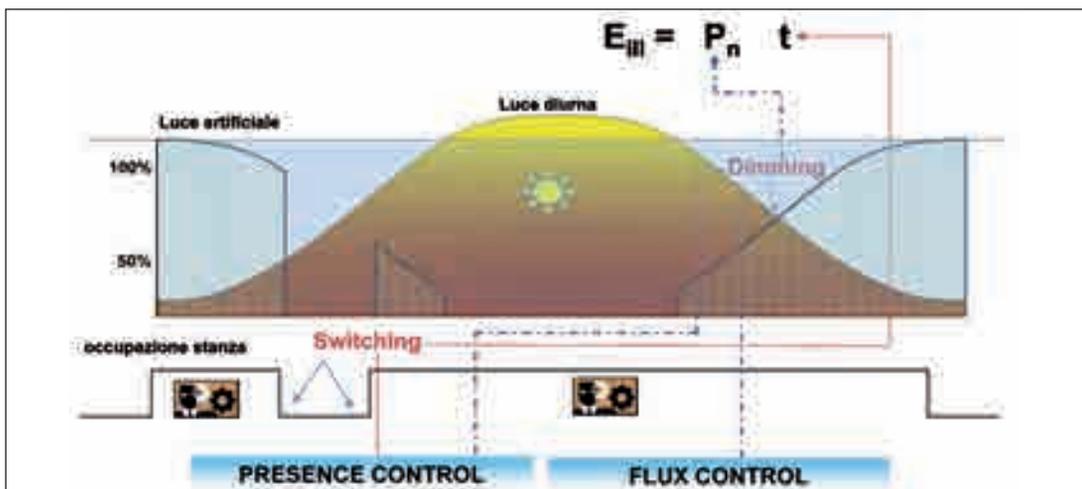


Figura 5. Esempio di controllo dei livelli di illuminazione naturale e artificiale in un ambiente.



calcolo eccessivo.

Un esempio di architettura di sistemi bus può essere il seguente (Figura 1): in un sistema bus esiste un mezzo di trasporto comune (bus) su cui i dispositivi si possono scambiare informazioni tra di loro; normalmente un sensore quando cambia stato trasmette un'informazione sul bus che viene raccolta da uno o più attuatori. Gli attuatori possono essere alimentati per esempio a 230V e ricevono le informazioni provenienti da uno o più sensori e, in base all'informazione ricevuta, cambiano lo stato della loro uscita. Questa può essere considerata solo una breve descrizione iniziale di un sistema bus che in realtà deve essere analizzato in maggiore profondità per comprenderne appieno le caratteristiche.

Una linea bus può essere di differenti tipologie:

- un cavo (doppino, fibra ottica, ethernet);
- la rete elettrica stessa (onde convogliate);
- l'etere (sistemi in radiofrequenza, zigbee, bluetooth, enocan).

Trattandosi di una rete dati i sistemi bus più evoluti seguono un modello classificativo di tipo ISO OSI così come avviene per esempio nel TCP/IP classificando in 7 livelli le loro funzionalità (Figura 2).

Spesso il livello 5 e 6 dello stack ISO OSI nei sistemi di "building automation" non viene implementato in quanto

le esigenze di questi sistemi sono decisamente più semplici di quelle che normalmente si hanno in sistemi più complessi come il TCP/IP.

In base alla modalità con cui i dispositivi possono essere interconnessi sul bus tra loro si possono riconoscere: sistemi lineari, ad albero, ad anello, a stella (Figura 3). L'affermarsi di una tecnologia passa spesso per la semplicità del cablaggio, in quanto sovente il cablaggio di sistemi evoluti non è affidato a operatori esperti, e una maggiore complessità nel cablaggio si può tradurre in una maggiore difficoltà realizzativa.

La cultura dell'integrazione deve divenire uno dei valori fondamentali nella concezione degli impianti moderni: ogni tecnologia presente su un impianto deve risultare funzionante e a sé stante, a partire dal cablaggio che deve essere eseguito a regola d'arte, a livello di programmazione e logiche di controllo del sistema e inoltre tutte le integrazioni e la supervisione devono essere progettate per rappresentare un valore aggiunto del sistema e non diventare invece un collo di bottiglia o una criticità del progetto.

I costi degli impianti domotici sono stati forse la principale causa di ostacolo alla crescita di queste nuove tecnologie, ma, se è vero che il costo iniziale può essere superiore, la versatilità e la duttilità di questa tipologia di impianti permette variazioni continue e migliorie a costi

Figura 6. Classificazione adottata dalla norma UNI EN 15232 sull'incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici.



Figura 8. Scostamento del consumo energetico annuo di un edificio museale prima (2006) e dopo (2007) l'installazione di un sistema di building automation (da www.konnex.it).



Figura 7. Consumi energetici di un edificio museale prima (2006) e dopo (2007) l'installazione di un sistema di building automation (da www.konnex.it).

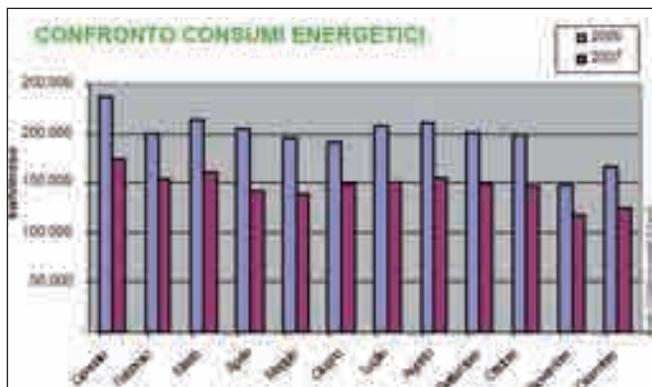


Figura 9. Risparmi energetici conseguiti in un edificio museale attraverso l'installazione di un sistema di building automation (da www.konnex.it).



A&RT

decisamente ridotti e inoltre la possibilità di evitare scassi o variazioni impiantistiche per poter ottenere comunque nuove funzionalità (Figura 4).

Per poter permettere la crescita della domotica in Italia è necessario raggiungere una standardizzazione dei sistemi che in altri paesi (in particolare in Germania) è molto forte, mentre in Italia, soprattutto per quanto riguarda la vera e propria “home automation”, ha davvero molta difficoltà ad essere raggiunta.

Alcuni standard tra i principali si stanno diffondendo: Konnex, Lon, Bacnet, DALI, Modbus, Mbus, Enocean per citare i principali. I costruttori italiani devono credere negli standard e non inventare soluzioni improvvisate che non possono essere forti su un mercato internazionale crescente, anzi sono causa del forte ritardo raggiunto sul territorio nazionale.

Le applicazioni della domotica sono svariate e si differenziano tra la “home automation” e la “building automation”; alcune delle soluzioni sono prevalentemente volte ad ottimizzare il comfort (in particolare per quanto riguarda la “home automation”), mentre le principali richieste relative alla “building automation” sono rivolte alla sicurezza e all’efficienza energetica.

La base dell’efficienza energetica nei sistemi moderni si ottiene con l’ottimizzazione dei costi di termoregolazione e regolazione di luminosità ambientale, sfruttando al meglio i contributi energetici naturali. Di seguito viene presentato un esempio di come un sistema di regolazione della luminosità ambientale può ottimizzare l’efficienza energetica di un sistema (Figura 5).

Per la realizzazione di un sistema efficiente è necessario considerare alcuni fattori fondamentali:

- tipologia dell’ambiente;
- tipologia dell’applicazione;
- condizioni ambientali;
- presenza di utenti;
- utilizzo della struttura;
- tecnologie adottate;
- fasce orarie di utilizzo.

Per fornire alcuni esempi:

- un edificio moderno con molte finestre e superfici vetrate va considerato in modo diverso da uno equivalente poco luminoso e con muri spessi;
- un’applicazione di tipo residenziale ha caratteristiche completamente diverse da una alberghiera o lavorativa;
- in un corridoio senza finestre la regolazione di luminosità è meno importante che in un ufficio sottoposto alla luce diretta del sole; un sistema di regolazione automatica delle veneziane deve tenere in considerazione la posizione geografica della struttura, la posizione del sole, l’intensità del sole, l’altezza dell’edificio e la presenza di

ostacoli;

- in un’abitazione la presenza degli utenti avviene spesso la sera e nei weekend, mentre in un’azienda si ha esattamente la condizione opposta;
- un sistema di riscaldamento a pavimento ha caratteristiche diverse da un sistema a fan coil e va pertanto gestito tenendone in considerazione le caratteristiche termiche.

La forza di un sistema dipende dalla capacità di integrare più funzionalità, permettendo un’ottimizzazione sia del cablaggio che delle funzionalità.

È inoltre molto utile che la supervisione sia unica o comunque in grado di integrare più tecnologie possibili: il cliente non si deve disperdere tra vari monitor o software per rincorrere la tecnologia, essa deve essere utile e fonte di produttività.

Possono essere ricondotti alla domotica alcune tipologie di applicazioni come l’illuminazione di emergenza e la contabilizzazione energetica; negli impianti di nuova generazione essi si riconducono e fanno parte di un impianto completo che comprende ogni funzionalità in modo omogeneo.

La norma CEN UNI 15232 propone una classificazione energetica degli edifici in base al punto di vista dell’edilizia e impiantistico, illustrata nella Figura 6.

Attraverso una buona progettazione e la scelta di sistemi adeguati si ottengono soluzioni di risparmio energetico che possono andare dal 20% in su, in base al numero e alla tipologia di funzioni implementate.

Valutiamo un esempio di realizzazione: un museo realizzato con tecnologia KNX in cui il sistema di “building automation” è stato realizzato per implementare le seguenti funzionalità:

- scenari non funzionali:
 - visita;
 - pulizia;
 - museo chiuso con attività all’esterno;
 - chiusura notturna;
 - manutenzione;
- regolazione dell’illuminazione;
- regolazioni temporali:
 - cronologia di utilizzo del sistema;
 - statistiche di attività ed eventi;
- regolazioni spaziali:
 - suddivisione in sub-aree gestibili singolarmente;
 - in base alla posizione;
 - in base alle funzioni.

Nel caso specifico, trattandosi di una ristrutturazione è stato possibile valutare il risparmio energetico ottenuto con l’introduzione del sistema di “building automation” ottenendo i risultati illustrati nelle Figure 7, 8 e 9 (fonte: www.konnex.it).

L'efficienza energetica e la qualità ambientale
del patrimonio edilizio esistente
Energy efficiency and indoor quality of the existing buildings



A&RT

Introduzione

Foreword

Il tema della qualità energetica del patrimonio edilizio esistente può essere certamente considerato quello a cui saranno indirizzate le maggiori attenzioni nell'ormai iniziato decennio 2010-2020. Un sostegno inequivocabile alla precedente affermazione è dato dal contenuto della recente Direttiva Europea 2010/31, nota come EBCD Recast. Essa introduce l'importante concetto di *nearly zero net energy building* (edificio ad energia netta quasi zero) affiancato al criterio di "cost-optimal level", criterio fondamentale per gli edifici esistenti: in pratica il livello di riferimento di prestazione energetica da raggiungere per un edificio è stabilito dal punto che consente di rendere minimi i costi economici rispetto al ciclo di vita dell'edificio.

La valutazione energetica e la valutazione economica concorrono insieme a stabilire l'obiettivo di prestazione da raggiungere per l'edificio e, comunque, la riduzione dei fabbisogni energetici dell'edificio deve sempre e comunque essere conseguita preservando un adeguato livello di qualità ambientale indoor, sia termica che visiva, acustica e dell'aria. All'interno dello scenario sopra descritto, il quarto incontro, moderato da Marco Filippi, dopo una illustrazione dell'intricato scenario legislativo e normativo sviluppatosi negli ultimi anni intorno al tema del contenimento dei consumi energetici in edilizia, a livello sia nazionale che regionale, si è sviluppato attraverso una serie di approfondimenti focalizzati sull'esame delle risultanze di interventi di riqualificazione energetica, condotti sia sugli involucri edilizi che sugli impianti.

La panoramica è stata significativa non solo in termini di tipologia di interventi, ma anche in termini di settori di applicazione, variando dal settore residenziale a quello degli uffici, fino al settore industriale.

Particolari approfondimenti sono stati poi dedicati ad un importante tema connesso all'analisi e al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edilizia esistente: il monitoraggio energetico-ambientale per la creazione di banche di dati storici sui consumi reali degli edifici e sulla effettiva qualità climatica degli ambienti interni. La trattazione si è spinta fino alla definizione di catasti energetici territoriali.

Nell'incontro sono stati messi in luce da un lato il forte interesse sul tema dell'efficientamento energetico dell'edilizia esistente da parte di tutti i soggetti operanti nel settore (dai costruttori agli *energy manager*, dagli installatori agli utenti finali) dall'altro ha evidenziato la difficoltà nell'operare una azione diffusa e capillare di riqualificazione sul patrimonio edilizio esistente in assenza di un "piano energetico" anche sostenuto da forme incentivanti.

L'auspicio è che, stimolate dal recepimento delle nuove direttive europee, vadano in questa direzione le prossime regolamentazioni locali.

Stefano Paolo Corgnati

Stato attuale della normativa nazionale e regionale in tema di contenimento dei consumi energetici in edilizia

Current status of national and regional legislation regarding reduction of energy consumption in buildings

VINCENZO CORRADO

Grazie all'emanazione di alcune importanti direttive europee e ad una maggiore sensibilità di governi nazionali e regioni, gli ultimi dieci anni hanno visto una forte evoluzione della legislazione europea e nazionale in tema di efficienza energetica nell'edilizia.

L'azione legislativa si è sviluppata su più direttrici: gli obblighi (requisiti energetici e prescrizioni, manutenzione, ispezioni), la sensibilizzazione dell'utente (certificazione energetica), gli incentivi (detrazioni fiscali, contributi in conto energia, sconti su oneri di urbanizzazione), la formazione di operatori e professionisti.

In Italia il quadro legislativo è complicato a causa della competenza in tema di energia assegnata alle regioni dalla Costituzione: ciò ha portato a una frammentazione legislativa, con alcuni virtuosismi e spunti interessanti, ma anche con una notevole confusione fra gli operatori del settore e gli utenti finali.

Il presente articolo presenta lo stato della normativa nazionale, ponendo l'accento sulla situazione in Piemonte e confrontando le principali prescrizioni introdotte negli interventi edilizi.

Vincenzo Corrado, ingegnere, professore associato di Fisica tecnica ambientale presso il Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino.

vincenzo.corrado@polito.it

With the adoption of some important European directives and an increasing care of national governments and regions, the last ten years have seen a strong evolution of European and national legislation regarding energy efficiency in buildings.

Legislative action has been developed on more lines: the obligations (energy requirements and prescriptions, maintenance, inspections), the user awareness (energy performance certification), the incentives (tax deductions, grants for energy, discounts on urbanization charges), training of operators and professionals.

In Italy the legislative framework is more complicated because of the competence on energy allocated to regions by the Constitution: this has led to a legislative fragmentation, with some excellences and interesting ideas, but also considerable confusion among operators and end users.

This article presents the status of national legislation, focusing on the situation in Piedmont and comparing the requirements introduced in the main building works.

1. La sostenibilità ambientale in edilizia

Il quadro legislativo sulla sostenibilità ambientale in edilizia è legato alla introduzione di una serie di direttive europee che negli ultimi anni hanno definito i requisiti di prodotti e sistemi legati al risparmio energetico e all'uso sostenibile delle risorse naturali (Tabella 1).

Tra le varie direttive quella che porterà l'impatto più consistente sulla prestazione energetica degli edifici e sul modo di progettarli è senza dubbio la EPBD recast, di cui si presentano di seguito le linee generali.

2. La EPBD recast

2.1. Contenuti

La nuova direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast) comprende i seguenti punti:

- Adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici (art. 3);
- Requisiti minimi in materia di prestazione energetica (art. 4):
 - calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (art. 5);
 - applicazione a edifici di nuova costruzione (art. 6);
 - applicazione a edifici esistenti (art. 7);
 - impianti tecnici per l'edilizia (art. 8);
- Edifici a energia quasi zero (art. 9);
- Incentivi finanziari e barriere di mercato (art. 10);
- Certificato di prestazione energetica (art. 11, 12, 13);
- Ispezione periodica di caldaie ed impianti di condizionamento d'aria (art. 14, 15, 16);
- Sistema di controllo ed esperti indipendenti (art. 17, 18).

Tale direttiva sostituirà la direttiva 2002/91/CE (EPBD), entrando in vigore secondo il calendario riportato in Tabella 2.

2.2. Prestazione energetica

Secondo la EPBD recast la *prestazione energetica* di un edificio esprime la quantità di energia *calcolata* o *misurata* necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico connesso ad un uso normale dell'edificio compresa l'energia utilizzata per riscaldamento ambiente, riscaldamento dell'acqua, raffrescamento, ventilazione, illuminazione.

Sono quindi tre gli elementi qualificanti della definizione di prestazione energetica:

- si ammettono i due approcci, rispettivamente di esercizio (*operational rating*) e di calcolo (*calculated rating*);
- si considera un uso normale (utente convenzionale);
- si considerano tutti i diversi servizi energetici (riscaldamento...).

Nel calcolo della prestazione energetica si richiede di prendere in considerazione i seguenti elementi ed opzioni: caratteristiche termiche dell'edificio comprese le sue partizioni interne (capacità termica, isolamento, riscaldamento passivo, elementi di raffrescamento, ponti termici); impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria; impianto di condizionamento dell'aria; ventilazione naturale e meccanica; impianto di illuminazione (per il settore non residenziale); progettazione, posizione ed orientamento degli edifici, compreso il clima esterno; sistemi solari passivi e protezione solare; condizioni climatiche interne; carichi interni; condizioni locali di esposizione al sole; sistemi solari attivi ed altri impianti di generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili; energia elettrica prodotta da sistemi di cogenerazione; sistemi di riscaldamento e condizionamento a distanza; illuminazione naturale.

2.3. Edifici di nuova costruzione

Per gli edifici di nuova costruzione la EPBD recast prevede che prima dell'inizio dei lavori di costruzione, sia valutata e tenuta presente la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza, tra i quali: sistemi di fornitura energetica decentrati basati su energia da fonti rinnovabili; cogenerazione; sistemi di riscaldamento e condizionamento a distanza, in particolare se basati interamente o parzialmente su energia da fonti rinnovabili; pompe di calore.

A partire dalla fine del 2018 per gli edifici occupati da enti pubblici e di proprietà e dalla fine del 2020 per tutti gli altri, gli edifici di nuova costruzione dovranno essere *edifici a energia quasi zero*, ovvero dovranno essere ad *altissima prestazione energetica* e il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrà essere coperto in misura molto significativa da energia da *fonti rinnovabili*, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

2.4. Edifici esistenti

Per gli edifici esistenti o loro parti destinati a ristrutturazioni importanti, la EPBD recast stabilisce che, per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile, sia migliorata la prestazione energetica al fine di soddisfare i requisiti minimi di prestazione energetica e sia incoraggiata la valutazione di sistemi alternativi ad alto rendimento. In aggiunta o in alternativa, i requisiti possono essere applicati agli elementi edilizi ristrutturati.

2.5. Certificazione energetica degli edifici

La certificazione energetica degli edifici non deve essere confusa con il rispetto dei requisiti energetici cogenti. Essa è rivolta all'utente finale e persegue l'obiettivo di fornire informazioni chiare e trasparenti per permettere ai proprietari o ai locatari di edifici o unità immobiliare di confrontare e valutare la loro prestazione energetica. L'effetto più evidente della certificazione energetica è quello di sensibilizzare l'utente, fungendo da stimolo per l'adozione di comportamenti "virtuosi" e per interventi di riqualificazione, legati anche al fatto che la qualità energetica diviene uno degli elementi che influenzano il valore dell'immobile.

Secondo la EPBD recast un attestato di prestazione energetica è rilasciato per edifici o unità immobiliari costruiti, venduti o affittati ad un nuovo locatario oppure per edifici in cui una superficie utile totale di oltre 500 m² è occupata da enti pubblici e abitualmente frequentata dal pubblico (il 9 luglio 2015 la soglia di 500 m² è abbassata a 250 m²). Inoltre:

- per edifici o unità immobiliari *costruiti, venduti o affittati*, il certificato energetico o una sua copia è mostrato al potenziale acquirente o nuovo locatario e consegnato all'acquirente o al nuovo locatario;

- per edifici *venduti o affittati prima della loro costruzione*, il venditore fornisce una valutazione della futura prestazione energetica dell'edificio; in tal caso, il certificato di prestazione energetica è rilasciato entro la fine della costruzione dell'edificio;
- per edifici o unità immobiliari aventi un certificato energetico, oppure unità immobiliari in edifici aventi un certificato energetico, in caso di *offerta in vendita o in locazione*, l'indicatore di prestazione energetica che figura nel certificato energetico dell'edificio o dell'unità immobiliare, secondo il caso, è riportato in tutti gli annunci dei mezzi di comunicazione commerciali.

L'attestato di prestazione energetica comprende la *prestazione energetica* dell'edificio e *valori di riferimento* quali i requisiti minimi di prestazione energetica; può comprendere *informazioni supplementari*, quali il consumo energetico annuale per gli

edifici non residenziali e la percentuale di energia da fonti rinnovabili nel consumo energetico totale; comprende, infine, *raccomandazioni* per il miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi della prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare, a meno che manchi un ragionevole potenziale per tale miglioramento rispetto ai requisiti di prestazione energetica in vigore.

La certificazione per le unità immobiliari può fondarsi su una certificazione comune dell'intero edificio, o sulla valutazione di un'altra unità immobiliare con le stesse caratteristiche energetiche rappresentativa dello stesso edificio. La certificazione delle abitazioni monofamiliari può fondarsi sulla valutazione di un altro edificio rappresentativo che sia simile per struttura, dimensione e per qualità della prestazione energetica effettiva, sempre che l'esperto che rilascia il certificato sia in grado di garantire tale corrispondenza.

Tabella 1. Quadro della legislazione europea e nazionale sulla sostenibilità in edilizia.

Descrizione	Dirigibile	Legge
Prodotti da costruzione	CPD - Dir. 1989/106/CEE	DPR 21/04/1993 n. 246 DPR 10/12/1997 n. 499
	Regolamento UE n. 305/2011	
Progettazione ecocompatibile dei prodotti contenuti all'energia	ECODSIGN - Dir. 2005/32/CE	DLgs. 06/11/2007 n. 201
	ECODSIGN recast - Dir. 2009/125/CE	DLgs. 16/02/2011 n. 15
Prestazione energetica nell'edificio	EPBD - Dir. 2002/91/CE	DLgs. 10/09/2005 n. 192
	EPBD recast - Dir. 2010/31/UE	DLgs. 29/12/2006 n. 311
Uso dell'energia da fonti rinnovabili	RES - Dir. 2009/28/CE	DLgs. 03/03/2011 n. 28
Efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici	EEESD - Dir. 2006/32/CE	DLgs. 30/03/2008 n. 115

Tabella 2. Entrata in vigore della EPBD e EPBD recast.

Dirigibile	Data	Contenuto
EPBD	4 gennaio 2006	tutte le disposizioni
	4 gennaio 2009	certificazione della prestazione energetica e le ispezioni (solo in caso di mancanza negli Stati Membri di esperti qualificati e/o accreditati)
	17 febbraio 2012	adeguamento
EPBD recast	9 luglio 2012	adozione e pubblicazione di disposizioni legislative, regolamentari e amministrative
	9 gennaio 2013	applicazione delle disposizioni riguardanti la metodologia di calcolo, la certificazione della prestazione energetica, il sistema di controllo indipendente e gli esperti indipendenti
	9 gennaio 2013	applicazione delle disposizioni riguardanti i requisiti di prestazione energetica e le ispezioni di caldaie e impianti di condizionamento d'aria agli edifici occupati da enti pubblici
	9 luglio 2013	applicazione delle disposizioni riguardanti i requisiti di prestazione energetica e le ispezioni di caldaie e impianti di condizionamento d'aria agli altri edifici

Tabella 3. Classificazione dei requisiti energetici in edilizia.

Requisiti	Requisiti	Requisiti
Strutturale	Strutturale	Strutturale
Prestazione termica del fabbricato (EP_{tot}) Isolamento termico dei componenti d'involucro: - strutture verticali opache - strutture orizzontali o inclinate opache - chiusure trasparenti - strutture verso ambienti non riscaldati Isolamento termico delle partizioni interne Controllo della condensa Prestazione termica del fabbricato (EP_{tot}) Controllo solare Controllo dell'inerzia termica Ventilazione naturale	Rendimento medio stagionale dell'impianto Prescrizioni su singoli componenti: - generazione - distribuzione - regolazione Obbligo di centralizzazione	Utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di ACS

Tabella 4. Limiti di trasmittanza termica U [$W/(m^2K)$]. Confronto tra i valori cogenti nazionali e regionali.

Componente	Valori (DLgs. 111/2005 e mod.)		
	Nazionale	Regionale	Regionale
Strutture opache verticali	0,34	0,33	0,33
Coperture	0,30	0,29	0,30
Pavimenti	0,33	0,32	0,30
Chiusure trasparenti	2,20	2,00	2,00
Chiusure trasparenti fronte strada	-	-	2,80
Vetri	1,70	1,50	-

3. Legislazione nazionale

Mentre la EPBD recast non è ancora stata recepita in Italia, il recepimento della EPBD è avvenuto attraverso il decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, successivamente implementato con il decreto legislativo 28 dicembre 2006, n. 311.

Il decreto legislativo 192/2005 norma la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche, l'applicazione di requisiti energetici, i criteri per la certificazione energetica, le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione. Come evidenziato in Figura 1, sono previsti due possibili iter di applicazione:

- un'applicazione nazionale, specificata attraverso l'emissione di decreti attuativi quali il DPR 59/2009 (requisiti energetici) e il D.M. 26/06/2009 (certificazione energetica);
- una clausola di cedevolezza che permette il recepimento diretto della direttiva europea da parte di regioni e province autonome.

Entrando nel merito dei principali requisiti e prescrizioni introdotti nella legislazione nazionale, essi possono essere classificate secondo diversi criteri. In Tabella 3 si riporta una possibile classificazione in base al sistema edilizio considerato e alle condizioni al contorno.

4. Legislazione regionale

In Piemonte, la legge regionale in materia di rendimento energetico in edilizia è la L.R. 13, del 28 maggio 2007. Si tratta di una legge quadro che prevede una serie di regolamenti attuativi, alcuni dei quali sono stati recentemente pubblicati:

- la D.G.R. 35-9702 del 30 settembre 2008 (impianti termici);
- la D.G.R. 43-11965 del 4 agosto 2009 (certificazione energetica);
- la D.G.R. 45-11967 del 4 agosto 2009 (fonti rinnovabili);
- la D.G.R. 46-11968 del 4 agosto 2009 (requisiti energetici).

La D.G.R. 46-11967, in particolare, si propone come obiettivi quelli di:

- migliorare l'efficienza energetica complessiva del sistema edificio-impianto, dei generatori di calore, dei sistemi distributivi e di regolazione;
- riguardo ai generatori di calore, favorire l'utilizzo di tecnologie innovative per incrementarne l'efficienza energetica e migliorare le prestazioni emissive, nonché l'utilizzo di combustibili a basso impatto ambientale e l'uso di fonti energetiche rinnovabili;
- favorire l'adozione da parte del cittadino-consumatore di comportamenti atti a ridurre i consumi energetici e le emissioni derivanti dai sistemi di riscaldamento e di condizionamento.

Per adempiere a tali finalità, il decreto suddivide le prescrizioni

in funzione sia della tipologia di intervento, sia della destinazione d'uso dell'edificio (6 differenti schede per ogni gruppo): gli interventi di nuova costruzione, gli ampliamenti volumetrici e le ristrutturazioni edilizie in genere fanno riferimento alle prescrizioni specifiche riportate nelle schede N; gli interventi di manutenzione edilizia sia ordinaria che straordinaria, nonché gli interventi sugli impianti termici ricadono invece all'interno delle schede E. In Figura 2 è rappresentato il quadro della legislazione energetica in Piemonte in collegamento con quella nazionale ed europea. In Figura 3 è riportato il quadro delle sanzioni previste dalla L.R. 13/2007.

Nei paragrafi seguenti, si presentano in maniera sintetica le principali prescrizioni della L.R. 13/2007 e dei suoi decreti attuativi, con particolare riferimento alle disposizioni inerenti all'involucro edilizio e alla relativa prestazione energetica, all'utilizzo di fonti rinnovabili, all'efficienza degli impianti e alla riduzione delle emissioni inquinanti in ambiente.

4.1. Involucro edilizio

Tra le prescrizioni specifiche relative all'involucro edilizio, oltre alla verifica dell'assenza di condensazione superficiale e della rievaporabilità nei mesi estivi del vapore acqueo condensato durante l'inverno nei componenti opachi, gli aspetti più innovativi introdotti riguardanti l'involucro edilizio comprendono:

- l'isolamento termico dei componenti d'involucro (opachi e trasparenti);
- il controllo solare (componenti trasparenti);
- il controllo dell'inerzia termica (componenti opachi).

4.1.1. Isolamento termico dei componenti d'involucro

La D.G.R. 46, fornisce due livelli di valori limite di trasmittanza termica dei componenti di involucro: il primo cogente ed il secondo incentivato. In Tabella 4 i limiti cogenti sono confrontati con quelli nazionali.

I valori di trasmittanza termica riportati dalla D.G.R. 46 siano valori medi delle trasmittanze dei singoli componenti della struttura, comprese le trasmittanze termiche lineari dei ponti termici, pesati rispetto alle superfici lorde. Tali valori limite si applicano in caso di nuova costruzione, ampliamenti volumetrici e di ristrutturazioni edilizie di edifici di superficie utile maggiore di 1000 m²; in caso di ristrutturazione edilizia di edifici di superficie minore, i valori limite sono maggiorati, per il solo componente di involucro opaco, del 30%. La D.G.R. 46 prevede possibilità di deroga se si utilizzano elementi costruttivi innovativi (previa documentazione comprovante, da allegare una relazione tecnica).

Tra le prescrizioni di carattere generale, la D.G.R. 46 ribadisce inoltre il valore limite di 0,8 W/(m²K) per gli elementi orizzontali e verticali opachi che separano diverse unità immobiliari, nonché tra ambienti riscaldati e non riscaldati, ed introduce il

valore di 2,8 W/(m²K) per gli elementi trasparenti.

Con riferimento agli interventi di manutenzione edilizia, la D.G.R. 46 impone che in caso di rifacimento di pareti o di intonaci in manutenzione straordinaria, si incrementi la resistenza termica del componente in modo da sottostare, a lavori ultimati, al limite di 0,43 W/(m²K), pari al valore limite cogente, incrementato del 30%; nel caso di rifacimento di coperture in manutenzione straordinaria, la trasmittanza termica del nuovo componente (o della soletta dell'ultimo piano riscaldato) non dovrà superare il valore di 0,30 W/(m²K) ed inoltre, per la sola zona climatica E, il valore della trasmittanza termica periodica della copertura dovrà essere inferiore a 0,20 W/(m²K).

Con riferimento infine al caso di ritinteggiatura delle facciate in manutenzione ordinaria, è invece previsto l'insufflaggio di materiale isolante (conducibilità termica fino a 0,06 W/(m·K)) in presenza di cassavuota ovvero l'inserimento di un cappotto nei casi l'intervento di insufflaggio sia tecnicamente impossibile. Fermo restando il dubbio di base sulle utilità ed applicabilità di una simile prescrizione, pare opportuno evidenziare come la delibera associ l'"impossibilità tecnica" alla semplice presenza di ponti termici all'interno della muratura da insufflare, e come sia possibile derogare a tale prescrizione – salve restando le esclusioni per gli edifici di interesse storico e per i beni tutelati – nei casi in cui meno del 20% della superficie interessata dall'intervento risulti insufflabile. Si evidenzia inoltre che tali interventi sono ricondotti a manutenzione ordinaria, e quindi ad attività libera che esula da alcun tipo di controllo da parte dell'ente pubblico.

4.1.2. Controllo solare

La normativa del Piemonte prescrive la valutazione e la documentazione dell'efficacia dei sistemi schermanti. In attuazione a quanto definito dalla legge regionale, il D.G.R. 45-11967 (punto 4) stabilisce l'obbligo (con deroga se si utilizzano elementi costruttivi innovativi) in caso di nuova costruzione, e limitatamente agli elementi oggetto di intervento in caso di ristrutturazioni edilizie di edifici di superficie utile maggiore di 1000 m², di sistemi *schermanti esterni fissi o mobili*, che abbiano una prestazione tale da ridurre del 70% l'irradiazione solare massima estiva, ma che al contempo garantiscano l'ingresso della medesima percentuale di radiazione solare incidente sulla superficie trasparente, durante i mesi invernali.

4.1.3. Controllo dell'inerzia termica

La prestazione energetica estiva dell'involucro edilizio è demandata alla verifica dei valori limite di trasmittanza termica periodica. Il valore limite, sia in caso di pareti (eccetto quadranti nord-ovest, nord e nord-est), sia in caso di coperture, è di 0,12 W/(m²K). Tale prescrizione si applica solo agli edifici in zona E, in caso di nuova costruzione, e limitatamente agli elementi oggetto di

intervento in caso di ristrutturazioni edilizie di edifici di superficie utile maggiore di 1000 m². Inoltre, è possibile derogare alla seguente prescrizione se si utilizzano elementi costruttivi innovativi (previa documentazione comprovante, da allegare una relazione tecnica).

4.1.4. Efficienza degli impianti e riduzione delle emissioni

La principale prescrizione della nuova legislazione energetica regionale riguarda l'obbligo di installare un *impianto termico centralizzato* in caso di edifici residenziali con più di 4 unità abitative; tale obbligo si riferisce a tutti i casi di nuova costruzione e di nuova installazione di impianti termici. Sono previste tuttavia delle deroghe: ad esempio intervento su edifici esistenti caratterizzati dalla prevalente presenza di impianti autonomi oppure comuni turistici,

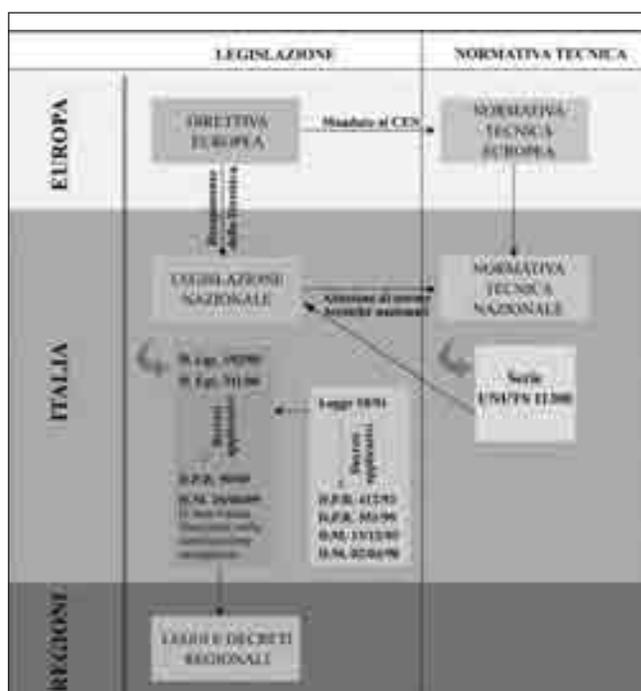


Figura 1. Legislazione e normativa tecnica: Europa, Italia, regioni. (figura sopra).

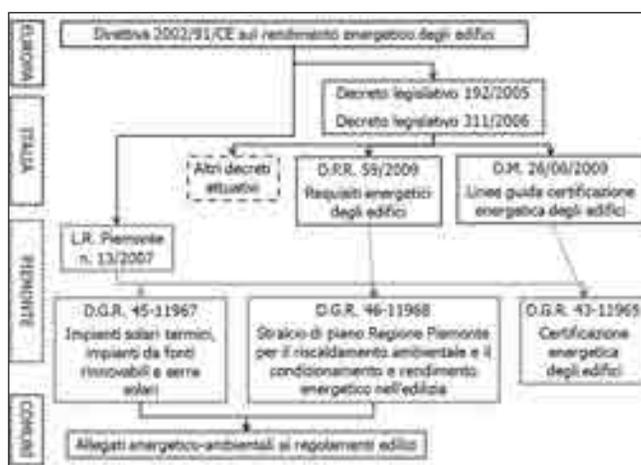


Figura 2. Quadro della legislazione energetica in Piemonte.

A&RT

caratterizzati da un rapporto tra il numero complessivo di abitazioni ed il numero di abitazioni con almeno una persona dimorante abitualmente superiore a 6.

Rimane in Piemonte l'obbligo di predisposizione alla rete di teleriscaldamento, ma è superata la limitazione della legislazione nazionale, che riconduceva la prescrizione ai soli edifici distanti un massimo di 1000 m dalla rete di teleriscaldamento.

Con riferimento alle prestazioni richieste all'impianto termico, si evidenzia un inasprimento degli obblighi nazionali nella definizione del valore limite inferiore del rendimento globale medio stagionale, per il quale si prevede, in caso di interventi sull'impianto (esclusa la mera sostituzione del generatore), un valore limite ricavato come

$\eta_{p,lim} = 77 + 3 \cdot \log(P_e)$, maggiore di 2 punti rispetto al limite della normativa nazionale.

È inoltre introdotta una soglia minima pari al 60%, del rendimento globale medio stagionale per la sola produzione di ACS. Sempre in termini di efficienza, si forniscono nuove formule, più restrittive, per la determinazione dei valori minimi del rendimento di combustione del generatore, mentre in caso di utilizzo di sistemi a pompa di calore sono definiti i valori limite del coefficiente di prestazione (COP). Parallelamente alle prescrizioni sul rendimento impiantistico, la normativa del Piemonte riporta valori limite per le emissioni di polveri e di NO_x in funzione della potenza nominale dell'impianto termico e della tipologia di zona dell'intervento. È inoltre prescritto l'adeguamento ai requisiti emissivi per tutti i generatori di calore, con scadenze differenziate a seconda della potenza nominale installata e della tipologia di combustibile.

È ribadito l'obbligo di termoregolazione e contabilizzazione del calore per singolo locale o zona, con caratteristiche di uso ed esposizione uniformi, in caso di nuova costruzione e di interventi sull'involucro.

La nuova legislazione regionale con riferimento ai sistemi di cogenerazione, prevede un loro corretto dimensionamento in funzione della domanda di calore, sottolineando come un utilizzo di tali sistemi sarebbe correttamente da abbinare ad impianti frigoriferi ad assorbimento per il condizionamento estivo (trigenerazione).

4.2. Uso delle fonti di energia rinnovabile

Circa l'utilizzo di fonti rinnovabili, la Regione Piemonte prevede l'obbligo di produzione di energia termica per una quota pari al 60% del fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria, e l'obbligo di installazione di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Destano dubbi alcune prescrizioni ad esse associate, quali ad esempio l'integrazione obbligatoria dei pannelli – che non possono inoltre avere inclinazione differente da quella della falda – o l'impossibilità di inserimento sulle coperture di ausiliari al

sistema, come i serbatoi di accumulo. Inoltre, da evidenziare che sul dimensionamento dell'impianto FV, la Regione non si è tuttora espressa, limitandosi a riportare l'equivalenza tra 1 kWp e 8 m² di superficie dei moduli fotovoltaici. Poche le alternative possibili, e riferite alla sola produzione termica: copertura del 60% attraverso teleriscaldamento, geotermia o reflui.

In tema di fonti rinnovabili, si ricorda la possibilità di scomputare dagli indici volumetrici le serre solari – siano queste capacitive o tampone – per un massimo di 2 m di profondità e di un volume pari al 10% del volume al quale la serra è addossata.

4.3. La prestazione energetica dell'edificio

La D.G.R. 46 in Allegato 3 fornisce i valori limite di fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento, pari al fabbisogno di energia termica utile di riscaldamento calcolato secondo la specifica tecnica UNI/TS 11300-1, distinto a seconda del volume lordo dell'edificio e dei gradi giorno della località considerata. I valori limite sono ulteriormente distinti a seconda che si tratti di edifici residenziali (esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme) od edifici ricadenti nelle altre destinazioni d'uso. Si distinguono inoltre due livelli, dei quali il primo cogente ed il secondo incentivato.

Al punto 1.3.11 delle prescrizioni generali della medesima delibera, si identifica inoltre una *prestazione energetica per il raffrescamento estivo* dell'involucro, pari al fabbisogno di energia termica utile di raffrescamento definito dalla specifica tecnica UNI/TS 11300-1, distinguendo gli edifici a seconda della destinazione d'uso parimenti a quanto descritto per il fabbisogno di riscaldamento; si legge quindi che per gli edifici residenziali l'indice di prestazione estiva non deve superare 30 kWh/m² anno, mentre per i rimanenti edifici 10 kWh/m³ anno. Entrambe le prescrizioni si applicano in caso di nuova costruzione e di ristrutturazioni edilizie di edifici di superficie utile maggiore di 1000 m².

Le principali differenze nei requisiti di prestazione energetica invernale rispetto alla legislazione nazionale sono i seguenti:

- l'indice di prestazione energetica invernale in Piemonte è riferito al fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento, mentre a livello nazionale è riferito al corrispondente fabbisogno di energia primaria;
- i valori limite del fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento in Piemonte sono espressi in funzione del volume lordo riscaldato, mentre nella legislazione nazionale limiti di energia primaria in funzione del rapporto S/V. Secondo la normativa piemontese vengono privilegiati gli edifici di piccole dimensioni, ai quali si consente un maggiore consumo specifico, mentre c'è alcuna forma di agevolazione per gli edifici di forma articolata, a differenza di quanto previsto dalla normativa.

Bibliografia

V. Corrado, S. Paduos, *La nuova legislazione sull'efficienza energetica degli edifici. Requisiti e metodi di calcolo*, Celid, Torino 2008

Unione Europea, *Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD)*

Unione Europea, *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast)*

Governo Italiano, *Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192. Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*

Governo Italiano, *Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59. Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n.*

192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia

Governo Italiano, *Decreto 26 giugno 2009. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*

Regione Piemonte, *Legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia"*

Regione Piemonte, *Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 43-11965. Disposizioni attuative in materia di certificazione energetica degli edifici*

Regione Piemonte, *Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 45-11967. Disposizioni attuative in materia di impianti solari termici, impianti da fonti rinnovabili e serre solari*

Regione Piemonte, *Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 46-11968. Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia*

Figura 3. Quadro delle sanzioni in Piemonte.

Soggetto	Azione	Entità
Professionista abilitato	Attestato di certificazione energetica non veritiero	Doppio della parcella
	Attestato di certificazione senza il rispetto dei criteri e delle metodologie previsti	Valore della parcella
Progettista	Relazione tecnica non veritiera	Doppio della parcella
	Relazione tecnica priva della valutazione delle prestazioni energetiche e dell'indicazione del rispetto dei requisiti	Valore della parcella
Direttore dei lavori	Falsa attestazione di conformità delle opere rispetto al progetto e alla relazione tecnica	5.000 €
Costruttore	Opera realizzata senza il rispetto dei requisiti minimi prestazionali e delle prescrizioni specifiche	Un decimo del costo della costruzione
	Edificio di nuova costruzione o soggetto a ristrutturazione edilizia non dotato di attestato di certificazione energetica	Da 5.000 a 30.000 €
Responsabile dell'esercizio e della manutenzione	Mancato esercizio degli impianti termici o mancata esecuzione delle operazioni di controllo e di manutenzione	Da 500 a 3.000 € + sospensione impresa
	Mancato rilascio del bolino verde	Da 100 a 600 €
Tecnico incaricato del controllo e manutenz.	Operazioni di controllo e manutenzione non corrette	Da 1.000 a 6.000 €
Venditore	Mancata allegazione dell'attestato di certificaz. energetica	Da 1.000 a 10.000 €
Locatore	Mancata consegna dell'attestato di certificaz. energetica	Da 500 a 6.000 €
Proprietario	Mancata installazione di impianti solari termici integrati	Da 5.000 a 15.000 €
	Mancata installazione di impianti fotovoltaici	Da 2.000 a 10.000 €

La diagnosi e la contabilizzazione energetica nell'edilizia residenziale

Energy audit and accounting in residential buildings

LORENZO BALSAMELLI

Lorenzo Balsamelli, ingegnere civile, responsabile di area della Onleco S.r.l., società di ricerca applicata e consulenza di Torino.
balsamelli@onleco.com

Nell'ambito del contenimento dei consumi energetici, è ormai consolidata l'attenzione verso il patrimonio edilizio esistente, in particolare con riferimento alla climatizzazione invernale nell'edilizia residenziale. Questa attenzione ha infatti stimolato fortemente la ricerca di soluzioni tecnologiche mirate alla riqualificazione energetica, sia a livello di involucro, sia nel campo degli impianti. Oltre a ciò è da anche sottolineare un importante numero di iniziative promotrici e di strumenti legislativi cogenti ed incentivanti dedicati alla riqualificazione energetica dell'esistente. A margine di ciò è però importante prendere coscienza dell'importanza del ruolo che ricopre l'utente finale. In questo contesto, in particolare nel campo degli edifici residenziali plurifamiliari dotati impianti di riscaldamento centralizzati, la diagnosi energetica e la contabilizzazione individuale dei consumi si rivelano due strumenti di particolare interesse ed efficacia e che meritano pertanto un'attenta riflessione.

Within energy saving, the focus has been on current buildings, particularly on the issue of heating in residential housing. This attention has in fact stimulated the research for technical solutions concerning energy requalification in the area of energy envelope and plants. In addition we have to underline a good number of promoting initiatives, legislative measures and incentives devoted to the energy requalification of all existing buildings. There is also a raising consciousness of the role played by the final user. In the context of block of flats, both energy audit and accounting specified by consumption prove interesting and effective instruments, which deserve careful consideration.

Introduzione

La grande rilevanza degli usi finali nell'edilizia, nell'ambito del contenimento dei consumi energetici e della riduzione delle emissioni dei gas climalteranti, risulta ormai una tesi consolidata. A tal proposito è inoltre importante considerare il peso in particolare dell'edilizia esistente se si tiene conto, quantomeno a livello nazionale, sia della contenuta espansione edilizia, sia della legislazione vigente in materia concernente le nuove costruzioni che impone particolare attenzione al contenimento dei consumi energetici.

Al fine di individuare quali siano gli ambiti di intervento da considerarsi prioritari poiché maggiormente incidenti, è opportuno effettuare una disaggregazione dei consumi energetici per destinazione d'uso e usi finali. Analizzando le disaggregazioni proposte nelle Figure 1 e 2, emerge il peso attribuibile ai consumi energetici per la climatizzazione invernale nell'ambito dell'edilizia residenziale che rappresenta circa il 42% del consumo di energia primaria totale per gli usi finali in edilizia. Questo spiega la particolare attenzione del legislatore nell'emanare disposizioni cogenti ed iniziative

incentivanti finalizzate al contenimento dei consumi di energia primaria per riscaldamento.

In questo ambito è inoltre opportuno definire differenti strategie che risultino mirate per le due categorie di edifici residenziali (condominali e non) presenti sul territorio, poiché questi possono essere assai differenti sia per aspetti concernenti le dinamiche energetiche (in particolare modo concernenti la regolazione impiantistica e il comportamento dell'utenza), ma ancor di più per quelli relativi agli iter decisionali per la selezione di interventi di riqualificazione energetica. Premesso ciò è pertanto importante quantificare la quota di incidenza rispetto all'intero patrimonio edilizio residenziale di queste due categorie di immobili. Nella Figura 3 è riportata l'incidenza della cubatura di costruito delle varie categorie di fabbricati suddivise per numero di unità immobiliari ad esse associate.

Assumendo che gli edifici con un numero di unità immobiliari maggiore o uguale a 5 sono definibili come condomini, si nota che questi rappresentano circa il 43% della volumetria del patrimonio edilizio italiano (con destinazione d'uso prevalentemente residenziale). Anche se non preponderanti rispetto al totale, a tali edifici si associa un peso molto importante soprattutto se si tiene conto che la stragrande maggioranza di questi è localizzato nei grandi centri urbani, quindi dove la concentrazione di inquinanti e gas climalteranti raggiunge valori tali da suscitare un interesse prioritario. Per quanto sopra analizzato, risulta opportuno definire strategie ad hoc finalizzate all'incentivazione e al supporto di interventi per il contenimento dei consumi energetici, in particolare per la climatizzazione invernale. Per fare ciò è bene prima individuare, per ognuno dei tre attori coinvolti (il legislatore, i tecnici e le imprese del settore, gli utenti), i ruoli che questi assumono all'interno di questo meccanismo, tenendo inoltre presente che la gran parte degli edifici plurifamiliari presenti nei grandi centri urbani è stato progettato e realizzato durante l'espansione edilizia degli anni '60 e '70 del 1900 e pertanto dotati di impianti di riscaldamento centralizzato. A tal proposito, nella presente memoria, l'utente finale è stato identificato con il condominio e, più precisamente con l'assemblea condominiale e quindi con i suoi componenti (proprietari e/o inquilini).

L'importante ruolo del legislatore, che partendo dal livello comunitario/internazionale arriva a incidere capillarmente fino a scala comunale, può essere sostanzialmente identificato con quello di guida e indirizzo. Principalmente la sua attività consta nell'analisi delle caratteristiche peculiari del patrimonio edilizio presente sul territorio di competenza al fine di definire ed attuare una politica mirata alla realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione dei consumi che si realizza mediante l'emanazione di una serie di disposizioni cogenti e l'avviamento di meccanismi di incentivazione.

Anche gli operatori del settore (tecnici ed aziende di produzione, distribuzione e messa in opera dei componenti e materiali per il risparmio energetico in edilizia) ricoprono un ruolo non trascurabile perché sono chiamati ad un costante aggiornamento e innovazione tale da coniugare le esigenze degli utenti finali con le opportunità e disposizioni cogenti emanate dal legislatore.

Rimane infine l'utente finale che ricopre un ruolo cruciale nel processo di attuazione dell'attività di efficientamento degli edifici esistenti, poiché è colui che è chiamato a sostenere le spese per gli interventi da eseguire e ad assumere un corretto comportamento all'interno dell'edificio in relazione alle tematiche energetiche. Per ottenere questo scopo è quindi molto importante che egli conosca le dinamiche energetiche del proprio edificio, le sue criticità, i possibili interventi atti alla loro mitigazione e i corretti comportamenti da tenere affinché si ottenga la massimizzazione della redditività dell'investimento, salvaguardando il comfort all'interno dell'edificio e la salubrità dello stesso. Detto ciò, si intuisce come la diagnosi energetica e la contabilizzazione individuale dei consumi si configurino come due i strumenti complementari per l'ottenimento dell'obiettivo.

1. La diagnosi energetica di edifici plurifamiliari con impianto centralizzato

Nel capitolo precedente è stata introdotta la diagnosi energetica, in particolare nel contesto di edifici di tipo condominiale, come strumento indirizzato all'utente finale. Ma quali devono essere le peculiarità di questo strumento affinché porti al conseguimento dei risultati attesi? Il linea generale la diagnosi energetica è un'attività investigativa del sistema edificio-impianto ed edificio-impianto-utenza che viene messa a conoscenza dell'utente mediante un documento che:

- rapporti le prestazioni energetiche (stimate e reali) del singolo edificio in relazione al patrimonio edilizio di riferimento;
- indagli le criticità (vere o presunte) del sistema edificio-impianto e/o dei comportamenti dell'utenza;
- proponga le soluzioni alle criticità riscontrate valutando il rapporto costi / benefici legati alla loro realizzazione.

Tutte queste caratteristiche sono approfonditamente ed esaustivamente trattate sia in letteratura scientifica, sia dalla legislazione italiana dove non sono affrontati alcuni aspetti peculiari tipici di una diagnosi energetica di un edificio plurifamiliare che deve avere anche l'obiettivo di coinvolgere l'utente finale.

A tal proposito la "diagnosi energetica condominiale" dovrebbe:

- spiegare in termini comprensibili le dinamiche energetiche del sistema edificio-impianto;
- avere costi accessibili, salvaguardando però la correttezza

A&RT

Figura 1. Disaggregazione dei consumi di energia primaria per destinazione d'uso.

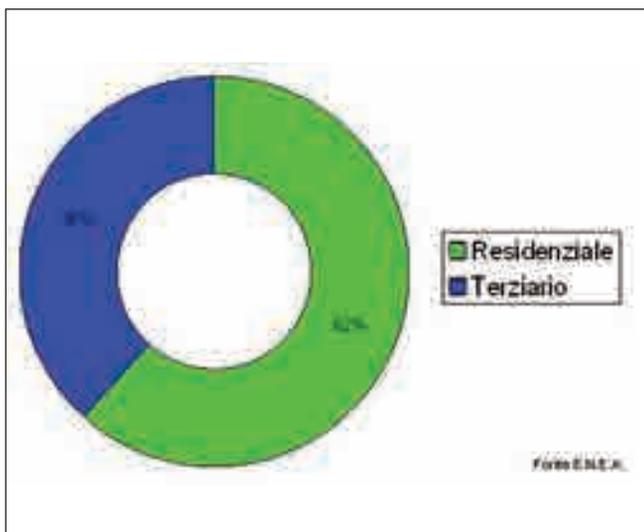


Figura 2. Disaggregazione per tipologia di uso finale dei consumi di energia primaria nell'edilizia residenziale.

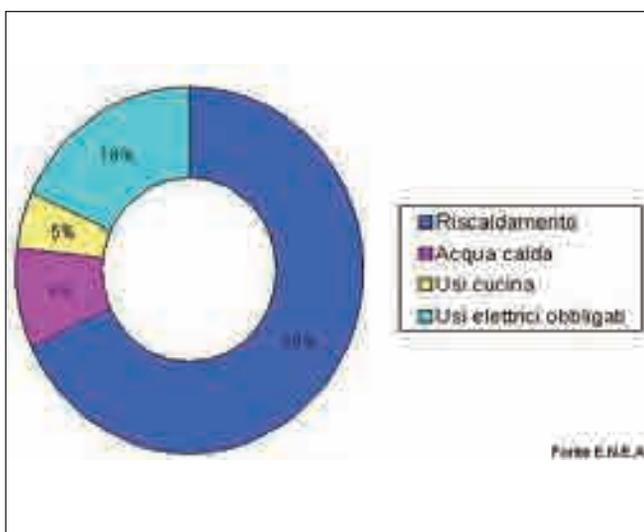
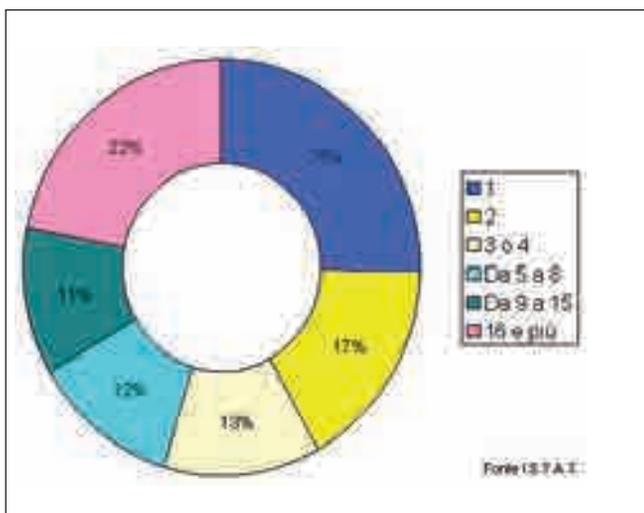


Figura 3. Disaggregazione della volumetria di costruito in fasce di numero di unità immobiliari in uno stesso edificio.



dei contenuti tecnico-scientifici;

- indagare le criticità (vere o presunte) lamentate dall'utenza;
- essere presentata in assemblea condominiale.

A titolo esemplificativo vengono di seguito riportati i principali passi dell'attività diagnostica eseguita su un caso reale costituito da un edificio plurifamiliare (Figura 4) dotato di impianto di riscaldamento centralizzato sito in zona climatica E.

Il primo step dell'attività è stato quello di reperire la documentazione sulle caratteristiche generali dell'edificio (ubicazione, elaborati grafici, destinazioni d'uso delle singole unità immobiliari) e sui consumi storici (bollette). Successivamente è stata effettuata l'attività di esecuzione dei sopralluoghi sull'edificio (rilievo e/o stima delle caratteristiche dell'involucro edilizio e dell'impianto di climatizzazione invernale), anche con ausilio di rilievi strumentali dedicati quali, per esempio, la termografia all'infrarosso.

Durante la fase di sopralluogo è inoltre avvenuta l'interfaccia con i singoli utenti al fine di rilevare le criticità riscontrate dall'utenza, con particolare riferimento al comfort termico.

I dati caratteristici del sistema edificio-impianto rilevati in fase di sopralluogo sono stati quindi elaborati mediante un apposito software per la simulazione delle prestazioni energetiche che ha permesso di analizzare in particolare i seguenti aspetti:

- verifica del corretto dimensionamento dei terminali di impianto termico per la climatizzazione invernale
- analisi delle dispersioni termiche dell'involucro edilizio con individuazione di elementi particolarmente critici (Figura 7);
- stima dell'efficienza dei componenti dell'impianto termico per la climatizzazione invernale.

Tenuto conto della marcata difformità delle condizioni di comfort percepite dall'utenza (come constatato in fase di sopralluogo), è stata pianificata ed eseguita una campagna di monitoraggio in continuo delle condizioni termoigrometriche interne ed esterne durante la stagione di riscaldamento, accompagnata da rilevamenti termografici spot eseguiti all'interno delle unità immobiliari dove gli utenti lamentavano condizioni di discomfort termico per basse temperature percepite.

Vengono di seguito riportati alcuni risultati esemplificativi dell'analisi dei dati di monitoraggio di lungo periodo come eseguita nel caso studio trattato.

Nel grafico riportato in Figura 10 è possibile prendere visione dell'andamento del valore di temperatura interna dei locali riscaldati durante tutto il periodo di monitoraggio, attraverso il quale è possibile apprezzare, nel caso esemplificativo in oggetto, la forte oscillazione del valore

durante le 24 ore giornaliere.

In Figura 11 invece è riportata l'elaborazione dei dati di temperatura interna rilevata un modo da fornire le frequenza e la frequenza cumulata del valore monitorato in intervalli di temperatura pari ad un grado Celsius. Tale rappresentazione è particolarmente utile sia per sottolineare il livello di dispersione dei dati in un range di temperatura più o meno ampio, sia ed in particolar modo, per rappresentare visivamente la quantità di rilevamenti ricadenti o meno all'interno dell'intervallo di accettabilità previsto (nel caso in oggetto l'intervallo di accettabilità è quello compreso tra i 20° e i 22°C).

Utilizzando l'elaborazione dei dati proposta nel diagramma di Figura 11 è stato inoltre possibile ricavare i valori

da attribuire agli indicatori IP (indice di performance), ISS (indice di scostamento superiore) e ISI (indice di scostamento inferiore) come di seguito definiti:

- IP = percentuale di tempo per la quale i parametri rilevati ricadono all'interno dell'intervallo di accettabilità;
- ISS = percentuale di tempo per la quale i parametri rilevati sono superiori rispetto ai limiti definiti dall'intervallo di accettabilità;
- ISI = percentuale di tempo per la quale i parametri rilevati sono inferiori rispetto ai limiti definiti dall'intervallo di accettabilità.

Gli indicatori sopra definiti risultano particolarmente efficaci per fornire un'informazione sintetica ed esaustiva all'utente finale in relazione ai risultati dell'analisi delle grandezze microclimatiche dell'ambiente interno.

L'analisi eseguita ha permesso prima di tutto di identificare un gran numero di locali dove si presentavano, con elevata frequenza, sovratemperature rispetto a quanto previsto dalla legislazione vigente in materia (20°-22° C come del D.P.R. 412/93 e s.m.i.). A seguito di detta constatazione è stata pertanto messa in luce una consistente opportunità di riduzione dei consumi energetici per riscaldamento, attraverso l'intervento di dotazioni impiantistiche che permettano la regolazione locale (ambiente per ambiente) della temperatura interna.

La medesima analisi ha permesso inoltre di verificare che, negli ambienti ove gli occupanti lamentavano condizioni di discomfort per bassa temperatura durante le stagioni

Figura 4. Edificio oggetto di diagnosi energetica.



Figura 5. Termografia all'esterno del fabbricato.

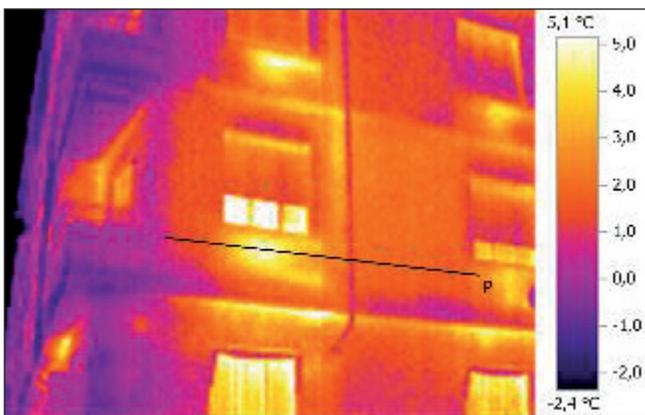
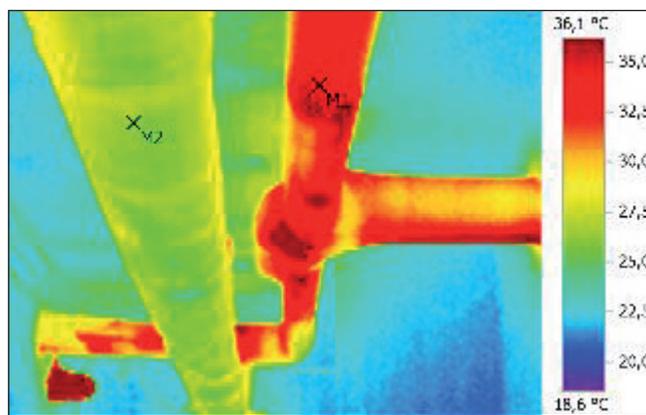


Figura 6. Termografia sulla rete di distribuzione del fluido termovettore.



A&RT

invernale, le temperature dell'aria registrate risultavano, in buona percentuale, rientranti all'interno del range 20°-22°C. Questa constatazione, unitamente all'analisi dei risultati dei rilievi termografici eseguiti all'interno degli ambienti, ha permesso di ricondurre il discomfort (percezione di freddo) registrato per lamentela degli occupanti a basse temperature superficiali interne di alcuni locali, più che a basse temperature dell'aria all'interno dei medesimi. Ciò ha pertanto portato a ritenere che l'origine della criticità fosse da imputare alle scadenti prestazioni termofisiche di alcuni elementi di involucro, invece che attribuibile a problematiche legate all'impianto termico (come supposto dagli utenti dell'edificio).

Sulla base delle criticità riscontrate, sono stati pertanto proposti gli interventi per la loro mitigazione avendo cura di fornirne le indicazioni tecniche di massima e la stima dei costi per la loro esecuzione. Sono state inoltre rintracciate e descritte le forme incentivanti disponibili a vari livelli (nazionali, regionali ecc.) e di diversa natura (defiscalizzanti, finanziamenti in conto interesse ecc.) ed stata quindi effettuata la valutazione del rapporto costi/benefici tenendo conto anche degli apporti derivanti da dette forme incentivanti.

I risultati dell'indagine condotta, oltre che ad essere puntualmente trattati all'interno dell'elaborato fornito agli utenti (occupanti e/o proprietari di singole unità immobiliari all'interno del condominio), sono stati presentati durante l'assemblea condominiale. L'illustrazione dell'indagine condotta e dei risultati ottenuti (facendo grande utilizzo di grafici e immagini – in particolare termogrammi – di facile comprensione anche ai non addetti ai lavori) ha

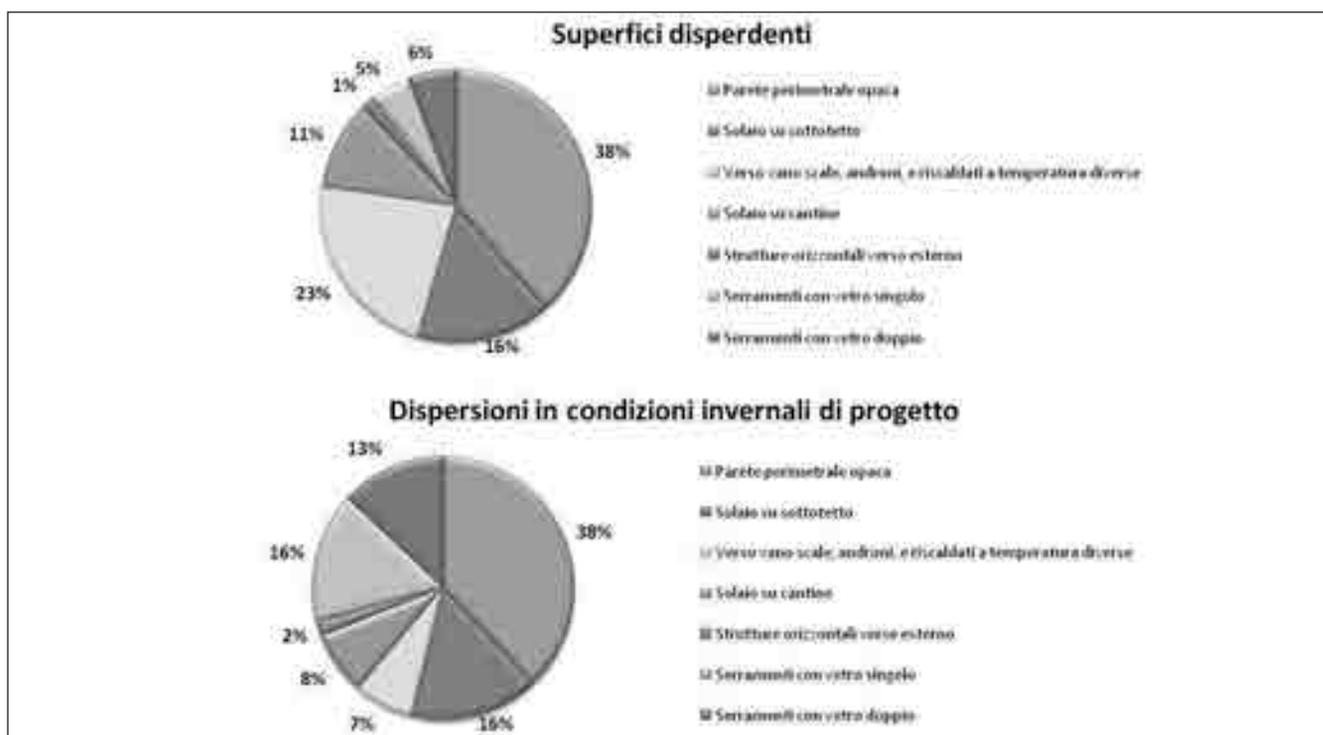
permesso a tutti i presenti di conoscere le dinamiche energetiche del proprio edificio e comprenderne le criticità reali, distogliendo invece l'attenzione da quelle solo apparenti. Così facendo l'assemblea è stata messa in condizione di valutare collettivamente e serenamente (condizione che, com'è noto e risaputo, è tutt'altro che scontata all'interno dell'assemblea condominiale) gli interventi proposti all'interno della diagnosi energetica sulla base delle valutazioni tecnico-economiche presentate.

2. La contabilizzazione individuale

La contabilizzazione individuale dei consumi, in particolare nell'ambito della climatizzazione invernale, rappresenta, come anticipato in precedenza, uno strumento di grande interesse nell'ambito dell'obiettivo del contenimento dei consumi energetici. È però altrettanto importante che questa avvenga in modo tale che i suoi fruitori la considerino come un'opportunità e non come una forma di penalizzazione. Di questo aspetto ci occuperemo però dopo aver brevemente illustrato quali siano le diverse dotazioni impiantistiche adottabili in funzione delle tipologie di impianto centralizzato esistenti.

Prima di fare ciò però è importante sottolineare un aspetto che potrebbe sembrare scontato, ovvero che non ha senso parlare di contabilizzazione individuale dei consumi senza averne un diretto beneficio, senza quindi dover spartire il risparmio conseguibile con l'intero condominio, rendendo pertanto detto risparmio praticamente intangibile. Per contro, è facile intuire che non avrebbe significato o utilità effettuare una contabilizzazione individuale dei consumi senza dare la possibilità al singolo

Figura 7. Confronto fra incidenza superficiale e della potenza termica dispersa in condizioni di progetto dei vari componenti di involucro edilizio.



utente di agire autonomamente variando i consumi stessi in funzione delle sue esigenze. Per tale ragione, quando parliamo di contabilizzazione individuale dei consumi di riscaldamento, implicitamente stiamo richiamando il concetto di “termoregolazione e contabilizzazione individuale”.

Fatta questa dovuta premessa, vengono di seguito riportate le varie tipologie di impianto centralizzato (caratterizzati da differenti tipologie di reti di distribuzione e terminali d'impianto) presenti all'interno del patrimonio edilizio esistente e le differenti tipologie di sistemi attualmente presenti sul mercato per la contabilizzazione individuale dei consumi per riscaldamento.

Tipologie di impianto:

1. distribuzione: a colonne montanti; terminali: radiatori;
2. distribuzione: a colonne montanti; terminali: pannelli radianti (più correttamente definiti come solai radianti);
3. distribuzione: orizzontale con collettore o circuito ad anello per singola unità immobiliare; terminali: radiatori;
4. distribuzione: orizzontale con collettore per singola unità immobiliare; terminali: pannelli radianti (a pavimento, soffitto o parete).

Tipologie di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione

individuale del calore:

- A. valvola termostatiche e ripartitore;
- B. valvola termostatica (tipo on/off) contenente dispositivo contaore;
- C. sistema di regolazione costituito da termostato (di zona, generalmente del tipo on/off) e dispositivo di contabilizzazione costituito da un contaore;
- D. sistema di regolazione costituito da termostato (di zona, del tipo on/off o modulante) e dispositivo di contabilizzazione costituito da un contatore di calore diretto per valutazione di portata del fluido termovettore e della sua temperatura di mandata e ritorno.

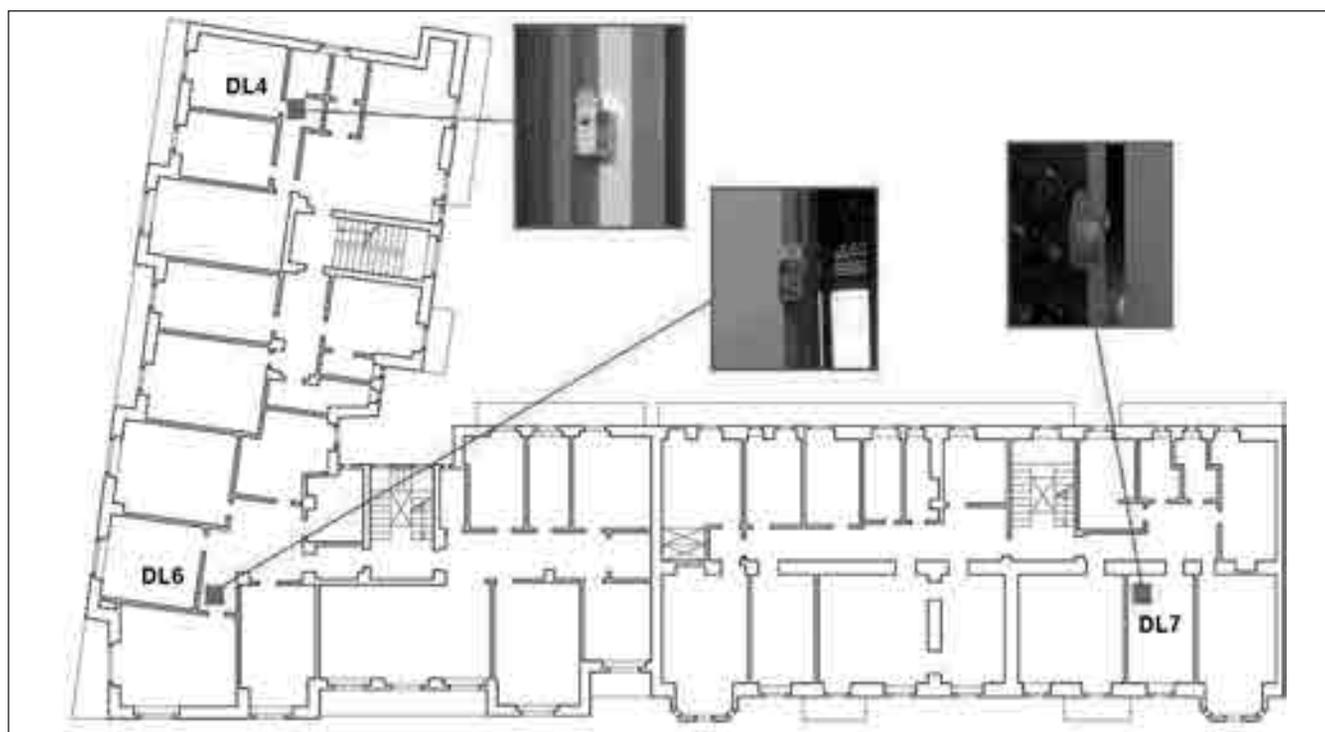
Nella matrice riportata in Tabella 1 sono indicati i possibili accoppiamenti tra le tipologie impiantistiche e quelle per la contabilizzazione individuale.

A commento della tabella sopra riportata, è opportuno segnalare che per la tipologia di impianto 3 la tipologia di sistema di termoregolazione e contabilizzazione individuale del calore più utilizzata è sicuramente quella rappresentata dalle configurazioni C e D. A margine di ciò è però opportuno tenere in conto che le configurazioni A e B sono tecnicamente applicabili e non escludibili a priori

Tabella 1. Possibili accoppiamenti tra tipologie impiantistiche e per la contabilizzazione individuale.

		Tipologie di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione individuale del calore			
		A	B	C	D
Tipologie di impianto	1	V	V	X	X
	2	X	X	X	X
	3	V	V	V	V
	4	X	X	V	V

Figura 8. Individuazione dei punti di stazionamento della strumentazione di monitoraggio ambientale.



A&RT

da punto di vista tecnico-economico.

Come anticipato all'inizio del presente capitolo, nell'ambito della contabilizzazione individuale dei consumi, la percezione dell'utente finale è un tema ad oggi sottovalutato mentre meriterebbe un'attenta riflessione poiché concerne aspetti sui quali l'utente stesso è particolarmente sensibile, ovvero quello economico e quello del comfort termico. In altre parole è essenziale che l'utente valuti la termoregolazione e la contabilizzazione individuale come un'opportunità di riduzione dei costi e di ottenere le proprie e puntuali esigenze di comfort, salvaguardando però allo stesso tempo i medesimi aspetti visti nell'ottica della collettività rappresentata da tutti gli utenti che abitano nel medesimo stabile. È pertanto necessario limitare quanto più possibile che il raggiungimento dei desiderata del singolo, sotto il profilo del comfort e soprattutto economico, abbiano ripercussioni negative sul resto dei condomini. Per tale motivo deve essere debitamente tenuto in conto il tema del calcolo della *Tariffa Binomia*, ovvero il calcolo delle percentuali della spesa energetica da ripartire a millesimi o metri cubi di riscaldamento (quota fissa) e quella da imputare ad una ripartizione secondo i consumi individuali registrati dall'apposita strumentazione.

In ambito italiano esiste una norma UNI (UNI 10200), norma attualmente in revisione, che ha come scopo detto calcolo. Tale norma, prima che venisse ritirata per la revisione, divideva le spese imputabili al riscaldamento in due gruppi: quelle indipendenti dal consumo (gestione e manutenzione impianti, spese amministrative, costi fissi in genere ecc.) e quelle relative al consumo di risorse energetiche per l'alimentazione dell'impianto di riscaldamento (combustibili/energia termica da reti di teleriscaldamento ed energia elettrica per l'alimentazione degli ausiliari, come pompe di circolazione ecc.). Di questi il primo veniva immediatamente assoggettato ad una "ripartizione fissa" (millesimi di riscaldamento). Il secondo invece veniva suddiviso a sua volta in due parti. La prima, che corrispondeva all'esborso economico legato al consumo di una quota parte di energia corrispondente alle perdite di generazione e di distribuzione (essendo queste inefficienze legate ai componenti centralizzati dell'impianto) che era soggetta ad una ripartizione in "quota fissa", mentre la seconda, cioè la rimanenza, veniva suddivisa in base ai consumi del singolo utente. Apparentemente la norma in questione sembrava valutare con equità gli aspetti energetici legati alla nuova gestione dell'impianto, ma in realtà tralasciava un aspetto fondamentale, cioè quello legato ai furti di calore. Si tenga infatti conto infatti che il singolo utente (magari in periodi di prolungata assenza) potrebbe eliminare il prelievo di calore dalla rete di distribuzione del fluido termovettore. Nonostante ciò all'interno dell'unità immobiliare la temperatura ambiente non

scenderebbe sotto una determinata soglia poiché si verificherebbero guadagni di calore provenienti dalle unità immobiliari riscaldate adiacenti. Questo fenomeno è in particolar modo rilevante nelle costruzioni risalente ad un periodo precedente all'emanazione del D.Lgs 192/05 e s.m.i. (si tenga conto dei limiti introdotti sulla trasmittanza termica dei componenti di separazione tra unità immobiliari pari a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) dove tipicamente la trasmittanza termica dei componenti componendi di separazione tra unità immobiliari è compreso tra 2 e $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nel caso per esempio di una singola unità immobiliare che presenti un mancato prelievo di calore dalla rete di distribuzione per tutta la stagione di riscaldamento, le spese di consumo associate a detta unità sarebbero nulle nonostante essa abbia ricevuto un apporto di calore (al di fuori degli apporti gratuiti interni e solari) legato al consumo energetico dell'impianto termico. Gli utenti di quella unità si troverebbero pertanto a beneficiare di un servizio per cui non hanno pagato, tutto ciò a discapito degli utenti che occupano le unità immobiliari confinanti.

Oltre a questa carenza dal punto di vista energetico, la norma un questione non fornisce spunti per l'incentivazione alla riduzione della domanda di energia termica dell'edificio legata a possibili interventi su componenti "condominiali" generalmente critici (solai su pilotis e coperture). Dopo l'intervento di inserimento della contabilizzazione individuale infatti, gli utenti delle unità immobiliari interpiano non avrebbero alcun vantaggio economico (dovuto alla riduzione di consumi) legato all'intervento su detti componenti e quindi sarebbero facilmente portati, all'interno dell'assemblea condominiale, a votare contro la loro realizzazione (essendo chiaramente chiamati a contribuire economicamente alla loro realizzazione tenendo conto che, per esempio il tetto è una parte comune).

Ultimo aspetto, ma non meno importante, è quello relativo ai valori tipici che risultano dal calcolo proposto dalla precedente versione della norma UNI 10200 che mediamente portavano alla seguente ripartizione: 20% delle spese soggette ad una ripartizione in "quota fissa" ed il restante 80% ripartite sulla base dei consumi reali. Questi valori darebbero spesso luogo a casi in cui alcuni utenti (tipicamente quelli dei primi ed ultimi piani), si troverebbero a pagare spese di riscaldamento di molto superiori rispetto a quelle della precedente gestione, mentre altri beneficerebbero di quote di spesa drasticamente ridotte. Questi squilibri potrebbero generare una diffusa disaffezione dell'utente verso la termoregolazione e contabilizzazione individuale, limitandone pertanto la diffusione.

Sulla base delle riflessioni sopra riportate, è auspicabile che la revisione di questa norma proponga strumenti e metodologie in grado di mitigare le criticità che sono peraltro già state riscontrate in un consistente numero di casi reali.

Figura 9. Termografia eseguita all'interno di un locale riscaldato.

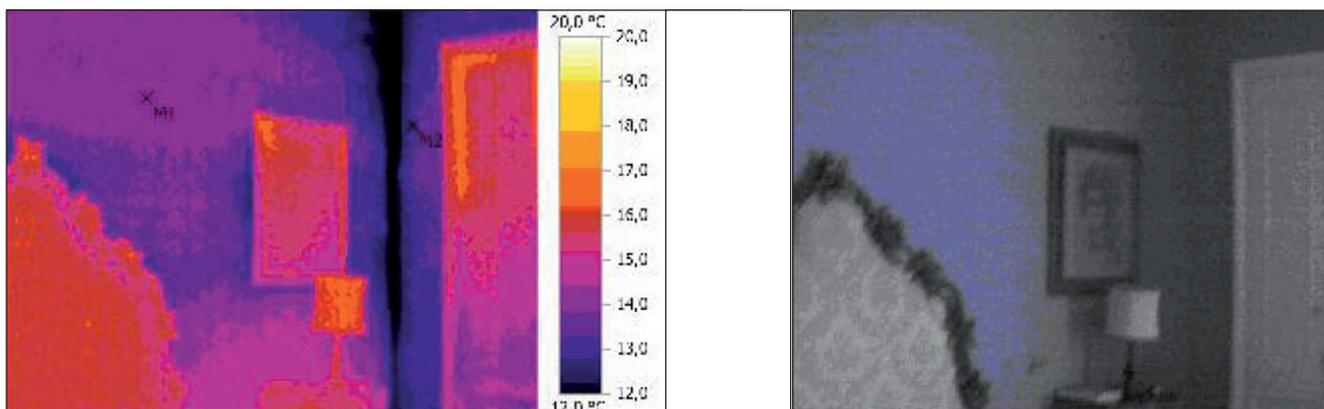


Figura 10. Andamento della temperatura interna monitorata all'interno di uno dei locali oggetto di monitoraggio ambientale.

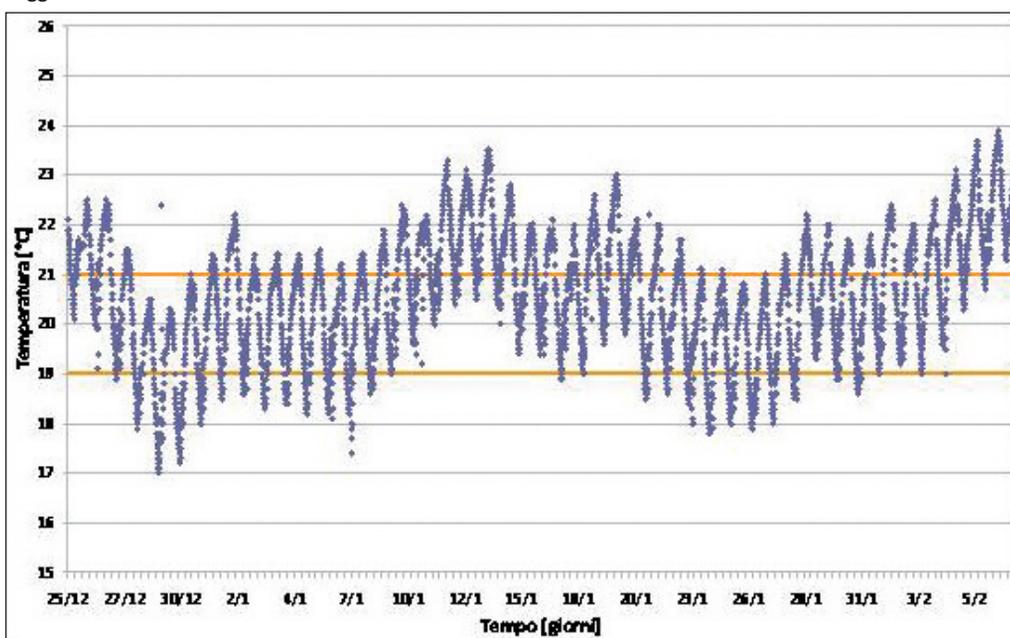
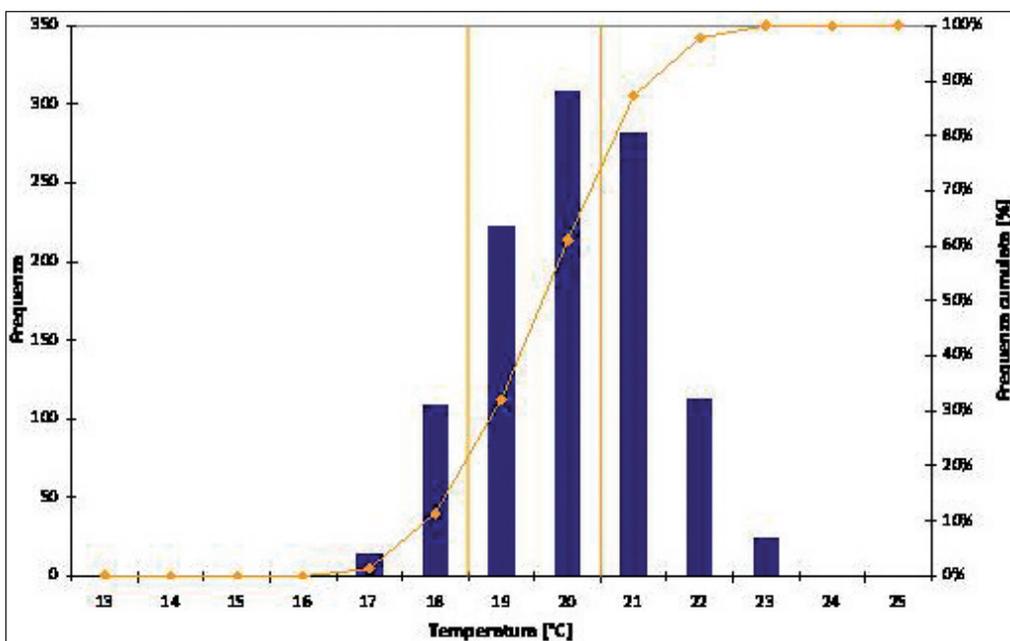


Figura 11. Distribuzione in frequenza e frequenza cumulata dei dati di temperatura interna rilevati all'interno di uno dei locali oggetto di monitoraggio ambientale.



A&RT

Conclusioni

Nel contesto della riduzione dei consumi energetici per riscaldamento nell'edilizia residenziale, il ruolo dell'utente finale è fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi prefissati, poiché senza il suo apporto risulterebbero vani tutti gli sforzi nel campo dell'evoluzione di strumenti di analisi e della ricerca di soluzioni tecnologiche mirate alla riqualificazione energetica. Per tale ragione, in particolare nel caso del residenziale plurifamiliare, è necessario stimolare l'utenza ad assumere un ruolo attivo. Questa azione può avvenire attraverso l'impiego di due strumenti: la diagnosi energetica e la contabilizzazione individuale. Questi, per poter permettere l'ottenimento degli obiettivi prefissati devono essere attentamente calibrati affinché si eviti di ottenere l'effetto contrario rispetto a quello desiderato. La diagnosi energetica deve

essere redatta in modo tale da essere comprensibile, adeguatamente illustrata dal tecnico che l'ha redatta e contenere gli elementi di valutazione tecnico-economica che permettano all'utente stesso di selezionare gli interventi di riqualificazione energetica che più rispondano alle sue esigenze, prospettive e possibilità economiche.

La contabilizzazione individuale è strumento che si sta dimostrando sicuramente incisivo ed efficace nella riduzione dei consumi. Per rimanere tale deve però essere accompagnato da metodologie e strumenti di calcolo di ripartizione dei costi che, da un lato, incentivino gli interventi condominiali di riqualificazione energetica e, dall'altro, limitino eccessivi squilibri fra le varie unità immobiliari poiché potrebbero innescare situazioni di malcontento di alcuni utenti generando avversione nei confronti di questo strumento di contenimento dei consumi.

Gli interventi per l'isolamento termico degli edifici esistenti

Thermal insulation of existing buildings

MAURO TRICOTTI

In tema di sostenibilità ambientale e in particolar modo di efficienza energetica il settore edilizio gioca un ruolo fondamentale per determinare il successo delle sfide future. Gli edifici sono, infatti, responsabili per oltre il 40% del consumo energetico mondiale e costituiscono la principale fonte di emissioni di CO₂. In particolare, la riqualificazione energetica degli edifici esistenti rappresenta la questione principale da affrontare in tema di sostenibilità ambientale, in quanto principale bacino del parco edilizio.

La presente analisi propone un caso di riqualificazione energetica di un'abitazione unifamiliare della fine degli anni '60, le cui condizioni strutturali originarie, fortemente degradate, conferivano all'edificio prestazioni energetiche molto basse. Il progetto di riqualificazione si poneva come obiettivo il raggiungimento della classe energetica A e dei requisiti di salubrità, sicurezza e qualità, fondamentali affinché un'abitazione possa essere definita "sana" per i propri inquilini.

Tale analisi testimonia come sia possibile, grazie a un approccio integrato di progettazione, raggiungere elevate performance energetiche in un intervento di riqualificazione.

In terms of environmental sustainability and energy efficiency, in particular, the construction industry plays a key role in determining the success of future challenges. The buildings are, in fact, responsible for more than 40% of world energy consumption and are the major source of CO₂ emissions. In particular, the energy upgrading of existing buildings is the main issue to be addressed in terms of environmental sustainability, as they are the main reality of the building stock.

This analysis suggests a case of energy efficiency upgrade concerning a single family house constructed in the late '60s, whose bad structural conditions gave to the building a low energy performance.

The aim of the requalification project was to receive an A-Class energy and to achieve the requirements of health, safety and quality, fundamental to define a house as "healthy".

This analysis shows that it is possible to achieve high energy performance, thanks to an integrated design approach of requalification.

*Mauro Tricotti, perito fisico, Project Sales Manager della società Rockwool Italia S.p.A.
mauro.tricotti@rockwool.com*

1. Il Gruppo Rockwool

Il Gruppo Rockwool è leader mondiale nella fornitura di prodotti e sistemi innovativi in lana di roccia, materiale inorganico derivante da materie prime naturali ed eco-compatibili.

Il Gruppo conta 8.000 dipendenti in più di 30 Paesi e, grazie alla collaborazione con una rete di aziende leader nel settore, serve clienti in tutto il Mondo. La sede è situata a Hedehusene, a ovest di Copenhagen, luogo in cui nel 1937 fu creato il primo insediamento produttivo, mentre a livello locale,

A&RT

Rockwool è presente nel mercato dell'isolamento termoacustico italiano dal 1989 (Figura 1).

La missione di Rockwool consiste nella fornitura di prodotti, sistemi e soluzioni che mirino a far ottenere, nel campo della progettazione edile e industriale, elevate performance di efficienza energetica, acustica e di protezione incendio.

L'attenzione all'eco-sostenibilità ambientale, parte integrante della filosofia aziendale del Gruppo, coinvolge l'intero sistema produttivo. Grazie al costante investimento in Ricerca & Sviluppo, Rockwool utilizza oggi la tecnologia di produzione più pulita al mondo nel settore della lana di roccia. Tutte le filiali del Gruppo hanno sottoscritto la Carta per l'Ambiente della Camera di Commercio Internazionale e molte delle nostre fabbriche sono certificate secondo la norma ISO 14001 oltre che conformi al Sistema Europeo di *Environmental Management and Auditing*

Scheme (EMAS). La consapevolezza dell'importanza di un rapporto sinergico tra le diverse realtà locali, soprattutto in tema ambientale, ha portato alla fondazione, presso la casa madre, di un Dipartimento ambientale, atto a coordinare e favorire lo scambio d'iniziativa tra le fabbriche.

È, inoltre, dimostrato che un prodotto Rockwool è in grado di far risparmiare, nel corso della propria vita, fino a 100 volte l'energia necessaria alla sua realizzazione. Ciò significa una considerevole riduzione delle emissioni di CO₂ e dei conseguenti danni ambientali dovuti a piogge acide, smog ed effetto serra.

La sensibilità del Gruppo verso l'efficienza energetica e la produzione eco-sostenibile, ha portato, infine, alla realizzazione, a Hedehusene in Danimarca, di un edificio a basso consumo energetico adibito a centro di ricerca e sviluppo, che nel 2000 è stato premiato come "*The world's most energy efficient office building*" (Figura 2). Questo innovativo

Figura 1. Due immagini storiche degli stabilimenti di produzione Rockwool.



Figura 2. Centro ricerca e sviluppo Rockwool a Hedehusene (Danimarca).



centro ricerche è l'esempio tangibile di come l'uso di materiali isolanti in lana di roccia possa rendere possibile la realizzazione di edifici energeticamente efficienti in sintonia con le esigenze ambientali di risparmio energetico e riduzione delle emissioni inquinanti.

2. Le sfide del futuro

In tema di sostenibilità ambientale, negli ultimi decenni si è registrato un incremento, a livello mondiale, dell'attenzione verso l'aspetto dell'efficienza energetica, entro cui il settore edilizio gioca un ruolo fondamentale.

L'*Action Plan for Energy Efficiency: Realizing the Potential* redatto dalla Commissione Europea nel 2006 dimostra, infatti, che, contrariamente a quanto si pensi, i maggiori consumatori di energia e la maggior fonte di gas clima alterante sono proprio gli edifici. Questi sono responsabili per oltre il 40% del consumo energetico, superando considerevolmente il settore dei

trasporti, 32%, e dell'industria, 28%. Inoltre, da un'analisi più dettagliata è emerso che la parte più consistente del consumo energetico degli edifici è dovuta alla climatizzazione degli ambienti (57%).

L'impronta energetica degli edifici è, quindi, ad oggi un fattore inequivocabile e la sensibilizzazione delle aziende del settore, nonché quella dei singoli cittadini, risulta fondamentale per affrontare con maggiore consapevolezza le sfide del futuro.

Nello specifico, la nostra sfida è di far capire che il comportamento energetico di un edificio dipende in gran parte dalle caratteristiche del suo involucro, poiché è ciò che determina i punti e la modalità con cui l'aria, l'acqua, la luce e altri elementi entrano ed escono. I sistemi di isolamento permettono di ridurre considerevolmente l'energia consumata da un edificio per la climatizzazione degli ambienti, migliorandone, così, le prestazioni energetiche.

Figura 3. Vista dell'edificio prima della riqualificazione.



Figura 4. Installazione del cappotto esterno.



Figura 5. Isolamento termico della copertura piana.



Figura 6. Vista del blocco infisso.



Figura 7. Pannelli radianti a pavimento con isolante preformato.



Figura 8. Rendering dell'edificio in progetto.



A&RT

Ciò comporta il duplice vantaggio di alleggerire il peso economico delle bollette energetiche e di ridurre l'impronta ecologica degli edifici, proteggendo l'ambiente da inutili emissioni di anidride carbonica.

La riqualificazione energetica degli edifici rappresenta la questione principale da affrontare in tema di sostenibilità, in quanto principale bacino del parco edilizio, e costituisce quindi la principale sfida per il futuro. In Italia, ad esempio, il 65% degli edifici ha un'età superiore ai 30 anni e non subisce opere di riqualificazioni da oltre 20.

In materia di efficienza energetica degli edifici, la direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) emanata dalla Commissione Europea, che entrerà a breve in vigore, introduce regole maggiormente restrittive rispetto a quelle attuali, sia per le vecchie che le per nuove costruzioni. Per quanto concerne quest'ultime, la direttiva prevede un allineamento con i requisiti propri degli "edifici ad energia quasi zero" entro il 31/12/2018 per gli edifici di nuova costruzione occupati e di proprietà di enti pubblici ed entro il 31/12/2020 per tutti gli altri edifici di nuova costruzione. Dove per "edifici ad energia quasi zero" si intende edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno deve essere coperto in misura molto significativa da energia proveniente da fonti rinnovabili. Ciò non può, però, prescindere da un massiccio intervento di ammodernamento del parco edilizio, in particolare in Italia dove, a differenza di altri paesi europei, la vita media degli edifici è mediamente più lunga.

Un adeguato e lungimirante intervento di riqualificazione deve tener conto di esigenze pratiche ben precise, nel rispetto dell'ambiente e dei suoi occupanti. L'organizzazione mondiale della sanità fornisce a tal proposito una definizione puntuale ed esaustiva: «Un'abitazione è sana quando è dotata di caratteristiche strutturali e ambientali in grado di tutelare la salute fisica e mentale dei suoi abitanti e promuovere la loro integrazione sociale»; la quale, poiché ci troviamo a trascorrere la maggior parte del nostro tempo *indoor*, andrebbe estesa a tutte le tipologie di edifici (uffici, scuole, negozi, supermercati ecc.).

Tale definizione permette di identificare tre aree chiave di intervento, in termini di performance prestazionali di un edificio.

Il primo aspetto individuabile è quello della salubrità, ossia della tutela della salute degli occupanti, intesa nello specifico come qualità dell'aria, un basso livello di inquinamento acustico e l'assenza di altri elementi dannosi per la salute, quale prima fra tutte l'eccessiva umidità e la conseguente formazione di muffe.

Il primo rapporto sull'impatto sanitario del rumore in Europa, dal titolo *Burden of disease from environmental noise* – risultato di uno studio internazionale coordinato dall'OMS Europa con il sostegno del Joint Research Centre (Jrc) della Commissione Europea – annovera l'inquinamento acustico tra i fattori di maggior rischio per la salute, secondo per gravità solo agli effetti provocati dall'inquinamento dell'aria. In base a tale studio emerge che una persona su tre è infastidita

durante il giorno e una su cinque è disturbata nel sonno dal rumore proveniente dalla strada, dalle ferrovie e dagli aeroporti. Tra i principali effetti negativi si riscontrano l'aumento del rischio di malattie cardiovascolari e di alta pressione sanguigna, difficoltà di apprendimento e tinnito auricolare. In particolare dai dati emerge che l'1,8% degli infarti nei Paesi dell'Europa occidentale sono attribuibili all'inquinamento acustico urbano con valori superiori ai 60dB Lden.

Se da una parte è ampiamente noto l'effetto nocivo che hanno sull'organismo una bassa qualità dell'aria e un alto tasso di inquinamento acustico, dall'altra si è abituati ad associarli unicamente agli ambienti esterni, trascurando l'importanza della salubrità *indoor*. Un altro problema strettamente legato alla qualità dell'aria, purtroppo molto diffuso e spesso sottovalutato, è la formazione di muffe. Queste si possono prevenire grazie a un corretto controllo igrometrico degli edifici, ma se non prese in tempo, oltre a intaccare la struttura della parete compromettendone la solidità, possono causare seri problemi all'apparato respiratorio nelle persone con deboli difese immunitarie.

A conferma di quanto detto, un report recentemente pubblicato dall'OMS dal titolo *Environmental burden of disease associated with inadequate housing*, che identifica in fattori quali scarsa sicurezza, rumore, umidità, qualità dell'aria scadente, temperature interne inadeguate (troppo freddo o troppo caldo), alcune delle cause primarie che provocano nelle case europee oltre 100 mila morti l'anno legate all'insorgenza di patologie, malattie respiratorie, cardiovascolari e tumorali.

Il secondo aspetto fondamentale riguarda la sostenibilità, da intendersi come l'insieme di quei fattori imprescindibili per un'armoniosa coesistenza tra l'uomo e l'ambiente che lo circonda: dall'eco-sostenibilità delle materie prime, passando per il contenimento dei consumi energetici in tutte le fasi che interessano il ciclo di vita di un prodotto (dalla produzione allo smaltimento) sino ad arrivare all'impatto che un edificio ha sul territorio e alla relativa necessità di ridurre al minimo la quantità di terreno "consumata" per la sua realizzazione.

Infine e di certo non meno importante, l'aspetto della qualità che coinvolge svariati ambiti alla base di una corretta progettazione – quali il confort interno (aspetto termico, illuminazione ecc.) e una corretta realizzazione progettuale – indispensabile per garantire una buona durabilità prestazionale di un edificio. Strettamente connessa all'aspetto della qualità vi è inoltre la componente estetica, poiché un edificio deve inserirsi in modo armonioso nel contesto urbano e rispettarne i canoni estetici.

3. Case history: un caso di intervento per l'isolamento termico degli edifici esistenti

Il caso presentato è un intervento di riqualificazione di un edificio esistente, realizzato negli anni '60. Nello specifico, l'intervento ha interessato una casa unifamiliare

sviluppata su due livelli (superficie di circa 230 m²) e situata nel comune di Lesmo, in provincia di Monza e Brianza.

L'edificio presentava originariamente una struttura degradata (Figura 3) con prestazioni energetiche molto basse, le cui singole strutture riportavano i seguenti valori di trasmittanza: le strutture verticali tra $1,6 < U < 2,1$ W/m²K, le strutture orizzontali tra $1,7 < U < 2,0$ W/m²K e i serramenti tra $5,0 < U < 6,0$ W/m²K.

L'analisi delle condizioni iniziali dell'edificio rappresentava un indispensabile punto di partenza per la valutazione della portata dell'intervento e delle relative tecnologie da utilizzare. Mentre, al fine di definire un bilancio energetico adeguato ed esaustivo, era necessario prendere in esame i seguenti aspetti: portata della dispersione energetica, consumi energetici necessari per ventilazione e apporti solari. Le analisi, effettuate con il software EBA2 convalidato dalla CTI per la certificazione energetica, ha dato come risultato un valore EPi di 352,74 kWh/m²a, confermando le pessime prestazioni energetiche dell'edificio. Si è quindi proseguito con un'analisi dettagliata della struttura per individuare quali fossero gli elementi a causa delle ingenti dispersioni e quali le rispettive soluzioni da mettere in atto in modo prioritario. Ne è emerso che circa l'84% delle dispersioni totali era imputabile alle superfici opache, di cui le chiusure verticali rappresentavano l'elemento più disperdente.

L'applicazione dei requisiti di legge simulata nel corso dell'analisi preliminare ha dato una previsione di riduzione del fabbisogno di energia utile dell'edificio pari a 63,95 [kWh/m²a], ossia un intervento avrebbe portato a una riduzione di circa il 70% del fabbisogno d'involucro e una riduzione sino al 51% dell'EPi. Al fine di soddisfare i requisiti minimi richiesti dalla normativa nazionale in termini di trasmittanze, si sarebbe, quindi, dovuto prevedere il seguente quadro di intervento: una coibentazione esterna, tramite cappotto, della struttura verticale, la sostituzione dei serramenti e dell'impianto termico in tutte le sue componenti (generazione, distribuzione ed emissione), l'integrazione di un impianto solare termico per il fabbisogno di acqua calda e un sistema di ventilazione VMC meccanizzato.

La volontà della committenza era, però, di ottenere un edificio che rientrasse in classe energetica A. Per raggiungere tali elevati standard prestazionali, si è, quindi, andato a sviluppare un progetto integrato che fosse in grado di garantire quei fondamentali requisiti di salubrità, sostenibilità e qualità, di cui si è parlato sopra.

Una volta vagliate le diverse possibili soluzioni di intervento, sono state selezionate quelle ottimali al progetto. Ma per la buona riuscita dell'intervento oltre all'individuazione delle soluzioni più adeguate e all'utilizzo delle tecnologie più all'avanguardia, risultava senz'altro fondamentale sviluppare un

rapporto sinergico con l'impresa di realizzazione. Al fine di massimizzare i risultati, quest'ultima avrebbe dovuto, infatti, modificare il proprio approccio di lavoro e abbracciare una *forma mentis* più lungimirante, aprendosi alla sperimentazione e alla modifica delle proprie abitudini in corso d'opera.

Tutte le analisi e le valutazioni pratiche sopra citate hanno portato alla messa in atto dei seguenti interventi pratici:

- una coibentazione dell'involucro che ha reso possibile una riduzione delle trasmittanze per un valore di 0,16 W/m²K;
- serramenti con ottime prestazioni [$U_w \approx 1$ W/m²K];
- introduzione di una ventilazione meccanica con recuperatore di calore;
- adozione di un impianto a pannelli radianti e di una caldaia a condensazione come sistema di generazione;
- utilizzo di pannelli solari termici per l'acqua calda e a integrazione del riscaldamento.

Al fine di fornire un'analisi più dettagliata dell'intervento intrapreso, si presenta di seguito un focus sulle specifiche azioni pratiche messe in atto per i singoli elementi strutturali.

Per le strutture opache, la valutazione ha portato alla scelta di un cappotto (Figura 4) in lana di roccia con spessore 20 cm. Per verificare la fattibilità dell'intervento e individuare gli elementi di fissaggio idonei a garantire la durata del sistema, sono state eseguite una serie di verifiche preliminari sulle condizioni della muratura esistente. La scelta di pannelli con bugnatura rispondeva a un'esigenza estetica architettonica, che ha richiesto particolare attenzione e precisione in fase di posa in opera.

Per la copertura (Figura 5) si è scelto un doppio strato di pannelli in lana di roccia, con spessore complessivo di 20 cm. In tal caso, al fine di ottimizzare i tempi di posa dello strato impermeabile, la stratigrafia isolante scelta era composta da un primo strato di pannelli (16 cm) ad elevate prestazioni meccaniche e un secondo strato da 4 cm, la cui finitura bituminosa già in dotazione ha permesso di agevolare la fase di posa della guaina impermeabilizzante. Mentre, la scelta della guaina è ricaduta su una membrana con pittura in tecnologia *White Reflex*, utile a migliorare le prestazioni estive dell'involucro. Quest'ultime, infatti, anche nei periodi di massimo irraggiamento sono in grado di garantire temperature superficiali nettamente inferiori (42°circa) rispetto a quelle tipiche di una membrana bituminosa nera tradizionale, in cui le temperature possono sfiorare gli 80° ottenendo anche una diminuzione su larga scala dell'effetto "isola di calore", grazie alla finitura d'impermeabilizzazione (ardesiata) di colore bianco.

La scelta di pannelli in lana di roccia si ricollega, inoltre, alla necessità di controllare il livello di inquinamento acustico, al fine di migliorare il confort interno.

A&RT

I serramenti adottati, con telai in legno e rivestimenti in alluminio, prevedevano un vetro camera tra 4-15-4 BE basso emissivo con gas argon con una relativa trasmittanza vetri: 1,0-1,1 W/m²K.

Il blocco infissi (Figura 6) è stato installato già con cassonetto accoppiato e coibentato, in un blocco unico, al fine di ridurre al minimo i ponti termici.

Per l'impianto si è adottata una caldaia a condensazione a gas con accumulo a doppio serpentina, con l'integrazione di pannelli solari, atti a massimizzare la captazione di energia solare nel periodo invernale e in modo da integrare la produzione di acqua calda per il sistema di riscaldamento. Il sistema di emissione è costituito da pannelli radianti a pavimento (Figura 7), questo per garantire il miglior rendimento dell'impianto e migliorare il confort interno dell'edificio.

La scelta di un sistema di ventilazione meccanizzato con recupero di calore è strettamente legata alla necessità di garantire la qualità dell'aria interna e di ridurre al minimo le perdite di ventilazione.

Infine, per il sistema di controllo si è optato per un impianto domotico, in grado di assicurare un controllo locale delle temperature, ambiente per ambiente.

Il risultato finale (Figura 8) è stato una riduzione dell'80% dei fabbisogni di involucro e un fabbisogno di EP_I pari a 31,75 kWh/m²a, raggiungendo, così, l'obiettivo avanzato dalla committenza di far rientrare l'abitazione in classe energetica A.

Conclusioni

L'esempio di riqualificazione riportato dimostra come sia possibile migliorare le prestazioni energetiche di un edificio e riportarlo a condizioni ottimali, rispettando i requisiti di salubrità, sicurezza e qualità, fondamentali affinché un edificio residenziale, terziario o commerciale possa essere definito "sano". L'intenzione di analisi era porre l'accento sull'importanza di una progettazione integrata nel raggiungimento di tali obiettivi. Infatti, oltre ad un'accurata analisi preliminare, l'elemento determinante per la massimizzazione dei risultati risiede in un approccio olistico di progettazione, da intendersi nel significato più esteso dell'espressione: dalla scelta dei materiali più idonei alle esigenze di uno specifico progetto a una scrupolosa selezione delle soluzioni tecnologiche, sino alla qualità della manodopera dell'impresa realizzatrice cui ci si affida e al rapporto di sinergia che vi si riesce a creare.

Una progettazione lungimirante, di qualità e sostenibile da un punto di vista ambientale è un elemento imprescindibile per assicurare una buona qualità della vita delle generazioni presenti e future. È indispensabile, a tal fine, oltre alla modernizzazione, qualificazione e tecnicizzazione del settore, la creazione di una cultura trasversale che attraversi e unisca in un unico sforzo tutti gli ambiti del settore edilizio.

Il monitoraggio energetico e ambientale del patrimonio edilizio esistente

Energy and indoor environment monitoring of existing building stock

STEFANO PAOLO CORGNATI

L'interesse rivolto al monitoraggio dei consumi energetici reali degli edifici si è molto amplificato durante gli ultimi anni poiché, nella pratica quotidiana, la conoscenza dell'effettivo comportamento energetico degli edifici risulta essere più importante della valutazione della loro prestazione energetica attraverso un calcolo teorico come quello ottenuto dalla certificazione energetica adottata in Italia.

Inoltre, è molto difficile effettuare una previsione realistica del consumo energetico degli edifici quando non è noto il consumo reale e non sono stati chiaramente identificati i fattori maggiormente influenzanti il consumo stesso.

Inoltre, attraverso la raccolta di dati mediante un sistema di monitoraggio, possono essere evidenziate tendenze e statistiche che aiutano alla comprensione delle dinamiche energetiche e dei consumi degli edifici.

In questo articolo, viene affrontato il tema del monitoraggio energetico e ambientale indoor negli edifici e vengono discusse le questioni relative alla raccolta e alla elaborazione dei dati.

The interest about the monitoring of actual building energy consumptions has amplified during the last years because, in everyday practice, the knowledge of the real energy behavior of the buildings is more important than the assessment of energy performances through theoretical calculation like obtained by the building energy certification as implemented in Italy.

Moreover, it is very difficult to make a realistic prevision of building energy consumptions when the actual energy consumptions are known and the factor mostly influencing such consumptions are clearly identified.

Moreover, though the collections of data by a monitoring systems, tendencies and statistics about building energy consumptions may help to understand the actual dynamics of building energy consumptions.

In this paper, the topic of energy and indoor environment monitoring is examined and the matters related to the data collection and elaboration are discussed.

Stefano Paolo Corgnati, ingegnere, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino.

stefano.corgnati@polito.it

1. Perché monitorare

Il termine monitoraggio energetico e ambientale riferito agli edifici è assai generale e include tutte quelle azioni indirizzate a raccogliere dati (attraverso misure, questionari ecc.) in grado di caratterizzare il comportamento dell'edificio in termini di qualità energetica, ambientale indoor e ambientale outdoor.

Quali sono le principali aspettative che si hanno quando si mette in atto un monitoraggio? Le principali sono qui di seguito elencare, cioè si effettua un monitoraggio per:

- informare;
- educare;
- controllare;

A&RT

- gestire;
- confrontare;
- verificare (ipotesi, calcoli ecc.);
- misurare/valutare oggettivamente la realtà.

Il tema è oggi cruciale in quanto l'innovazione tecnologica si sta fortemente indirizzando sui cosiddetti "edificio intelligenti". L'accoppiata "*Smart Monitoring for a Smart Buildings*" è essenziale: l'edificio, o meglio il sistema edificio-impianti, sta incrementando giorno per giorno la sua complessità. Il crescente uso delle fonti rinnovabili, complessifica gli approvvigionamenti energetici dell'edificio. L'impiego di apparecchi di conversione energetica integrati complessifica le logiche di gestione degli apparecchi stessi. Usi finali diversi e fluttuanti nel tempo complessificano la relazione tra domanda di energia e offerta di energia. In sintesi, l'edificio è sempre più un organismo complesso. Il monitoraggio è uno strumento utile a spiegare questa complessità.

2. Attività alimentate dal monitoraggio

Le principali attività che possono essere alimentate da un *monitoraggio* energetico-ambientale implementato su edifici sono di seguito illustrate e presentate in Figura 1:

- la costruzione di *database* strutturati per contenere i dati descrittivi degli edifici esaminati e le grandezze risultanti dalle misure dei parametri energetici e ambientali;
- la costruzione di *catasti energetici* degli edifici, contenenti indicatori prestazionali per la caratterizzazione energetica e ambientale degli edifici;
- la valutazione di valori di *benchmark* di consumo e di qualità climatica indoor per edifici con diverse destinazioni d'uso e differenti caratteristiche;
- lo sviluppo di *modelli inversi* di simulazione energetica per l'individuazione dei fattori maggiormente influenzanti i consumi e la previsione dei consumi energetici futuri;
- lo sviluppo di *modelli diretti* di simulazione energetica per l'individuazione dell'efficacia di interventi migliorativi sia sul sistema edificio-impianto sia sulla gestione operativa.

Nel presente articolo, per ragioni di brevità, non verranno trattate le tematiche relative allo sviluppo dei modelli inversi e diretti: queste tematiche per essere affrontate in modo chiaro e esaustivo richiedono una corposa parte introduttiva che esula dalle finalità del presente lavoro. Queste sono però temi di grande e crescente interesse, a cui specialisti del settore stanno indirizzando sempre maggiori energie: per approfondimenti su questi argomenti si rimanda il lettore a prima di tutto a *ASHRAE Fundamentals - Energy Estimating and modeling methods* (2009).

2.1. Il monitoraggio

L'attività di monitoraggio energetico e/o ambientale (climatico

esterno e interno) può essere indirizzato a diversi soggetti di indagine: esso può riguardare, come vedremo in seguito, il singolo edificio fino ad estendersi ad un numero estremamente elevato di edifici costituenti un parco edilizio.

In generale, comunque, il processo di monitoraggio può essere suddiviso in tre principali fasi:

- caratterizzazione del soggetto e del contesto oggetto del monitoraggio;
- pianificazione del monitoraggio (piano di monitoraggio);
- svolgimento del monitoraggio.

Il primo dei punti di cui sopra sarà trattato specificamente nel paragrafo seguente dedicato alla struttura del database di raccolta dei dati.

Le tre fasi sopra sono, a loro volta, suddivise in sottofasi e sono sempre precedute dalla definizione ed esplicitazione, chiara e inequivocabile, della finalità del monitoraggio energetico e/o ambientale.

Il monitoraggio energetico consiste nella misura delle grandezze fisiche caratterizzanti il consumo energetico di un edificio (consumi elettrici e/o termici). Esso può limitarsi a dati aggregati misurati in centrale (termica, frigorifera, elettrica) oppure disaggregati fino al livello degli usi energetici finali nei diversi locali che compongono l'edificio, sia esso un singolo edificio o un parco edilizio.

Le finalità del monitoraggio energetico possono essere sintetizzate come segue:

- quantificare i consumi energetici dell'oggetto in analisi (edificio o parco edilizio);
- qualificare la prestazione energetica dell'oggetto in analisi;
- acquisire dati e informazioni per lo sviluppo di una diagnosi energetica sull'oggetto in analisi.

Attraverso il monitoraggio ambientale (outdoor e indoor) si misurano invece quelle grandezze fisiche all'esterno dell'edificio e nei locali occupati dagli utenti, utili a determinare la qualità climatica esterna e interna, comprensiva degli aspetti termici, igrometrici, visivi, acustici e di qualità dell'aria.

Il monitoraggio ambientale è svolto per:

- classificare la qualità nell'ambiente esterno adiacente all'edificio;
- classificare la qualità ambientale interna di un locale, di un insieme di locali o dell'intero edificio;
- acquisire dati e informazioni per lo sviluppo di una diagnosi della qualità ambientale outdoor e indoor.

Per approfondimenti relativi alla tipologia e caratteristiche dei sensori per la misura delle grandezze climatiche indoor, e più in generale sul monitoraggio climatico indoor, si rimanda a *Rebva Guidebook n. 14 - Indoor Climate Quality Assessment* (2011).

Nel monitoraggio è di grande importanza il rilievo delle

condizioni meteorologiche esterne. Sebbene queste possano essere in taluni casi desunte dalle più vicine stazioni meteorologiche, è consigliabile l'installazione di una centralina meteo in situ. Ciò consente di conoscere in tempo reale le relazioni tra consumi, clima interno e clima esterno, che spesso consente una istantanea visualizzazione di criticità.

Il monitoraggio energetico e quello ambientale dovrebbero essere svolti in parallelo. Questa opzione è auspicabile poiché permette, nelle successive fasi di elaborazione dati, di correlare i consumi dell'oggetto di analisi con la qualità ambientale dei locali occupati e quindi delineare più dettagliate scelte in merito alla gestione energetica degli edifici. Occorre ricordare che la qualità ambientale indoor non dipende unicamente dal funzionamento degli impianti (di climatizzazione, di illuminazione ecc.) e dai loro sistemi di controllo, ma è influenzata dal clima esterno e dalle caratteristiche dell'involucro edilizio, nonché dalle aspettative e dal comportamento degli occupanti. Quest'ultima tematica è oggi oggetto di profonda investigazione da parte della comunità scientifica internazionale. La fase di definizione dei piani di monitoraggio energetico e/o ambientale è essenziale. Come già introdotto, un presupposto fondamentale per la chiara stesura di un piano di monitoraggio è la chiara descrizione dell'oggetto in analisi.

Occorre chiarire se l'attività è volta alla caratterizzazione del quadro in cui l'edificio o il parco edilizio è sito (dati climatici esterni), nonché il contesto che lo circonda (ambiente urbano, rurale ecc.). All'interno di questa attività rientra anche la descrizione delle caratteristiche geometriche e termo-fisiche dell'oggetto di analisi, delle caratteristiche degli impianti e dei sistemi di controllo (compresi i valori di set-point e gli orari di accensione/spegnimento) ed anche la caratterizzazione degli utenti (attività svolta, profili di occupazione ecc.).

All'interno degli edifici oggetto di analisi, occorre inoltre individuare e selezionare i locali campione, rappresentativi dell'universo a cui si riferisce l'analisi e all'interno dei quali svolgere puntualmente l'attività di monitoraggio. Si tratta di una scelta cruciale all'interno del processo, perché da essa dipende l'attendibilità dei risultati ed il costo del progetto. I locali scelti dovranno infatti essere significativamente rappresentativi dell'intero universo, onde evitare sensibili scostamenti dal comportamento medio dell'oggetto di analisi. In taluni casi potrebbe verificarsi la necessità di monitorare l'intero campione a causa della forte disomogeneità all'interno dello stesso.

Nella definizione dei piani di monitoraggio, i tecnici responsabili devono sempre preliminarmente identificare gli output finali dell'attività e l'incertezza massima accettabile per ciascuno di essi.

Si sintetizzano di seguito gli aspetti fondamentali da considerare nella stesura di piani di monitoraggio:

1. identificazione delle grandezze da misurare (consumi di energia elettrica e termica, portate dei fluidi termovettori, temperature dei fluidi termovettori, temperatura dell'aria nell'ambiente interno ed esterno, umidità relativa dell'aria nell'ambiente interno ed esterno, ecc.);
2. definizione dei campi di misura, ovvero gli intervalli all'interno di cui è richiesta una specifica accuratezza di misura;
3. definizione delle incertezze di misura, che derivano da un corretto calcolo di propagazione dell'errore sulla base dell'errore massimo accettabile per l'output finale;
4. definizione dei cicli di taratura dei sensori ed il tipo di taratura (in laboratorio o in campo);
5. definizione del ciclo di vita dei sensori, ovvero se l'installazione è di tipo permanente o temporanea e la longevità dei sensori stessi e degli eventuali sistemi di alimentazione autonomi (batteria).

Data risposta ai cinque requisiti sopra esposti, occorre stabilire le condizioni operative del monitoraggio:

1. numerosità dei punti di misura (disposizione nello spazio dei sensori, ovvero densità di misura);
2. numerosità e tempi dei campionamenti (estensione temporale dell'attività di monitoraggio [anni, mesi ecc.] e frequenza di campionamento);
3. modalità di trasmissione dei dati (wired o wireless);
4. tipologia di protocolli di trasmissione dei dati (proprietary o open-source).

Sulla base dei cinque sopra illustrati è possibile stabilire la qualità della misura ed indirizzare una prima scelta sul tipo di sensoristica da utilizzare, in funzione delle finalità dell'indagine e delle disponibilità economiche del progetto.

2.2. Il database

I dati misurati attraverso il monitoraggio in campo devono essere opportunamente raccolti e organizzati.

Il database deve contenere le informazioni relative a quei fattori che sono stati individuati come maggiormente influenzanti il consumo energetico dell'edificio: essi sono infatti indispensabili per lo sviluppo delle successive indagini. Il database ha la necessità di essere articolato su più livelli in vista delle diverse possibilità di elaborazioni dei dati successive. A livello internazionale, una interessante esperienza è quella in corso di sviluppo da parte del progetto dall'International Energy Agency (IEA-ECBCS) Annex 53 dal titolo *Total Energy Use in Buildings - Analysis and evaluation methods* (www.ecbcsa53.org). Nell'ambito del progetto, è stata proposta la classificazione del database attraverso più livelli, ciascuno caratterizzato da un maggior dettaglio ed frequenza dei dati raccolti.

In generale, comunque, ogni database è popolato attraverso da due tipologie di dati:

- dati/informazioni "stazionarie" o "quasi stazionarie"

A&RT

Figura 1. Principali attività alimentate dal monitoraggio energetico-ambientale di edifici.



Figura 2. Fattori influenzati il consumo energetico dell'edificio secondo IEA-ECBCS Annex 53.

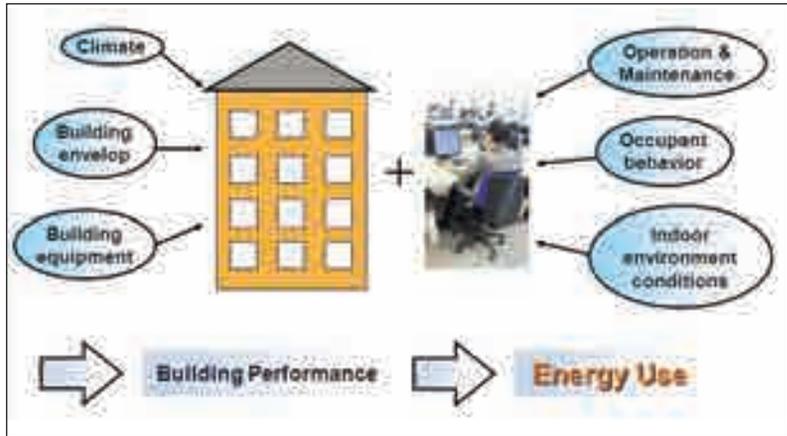


Figura 3. Rappresentazione qualitativa della relazione esistente tra la dimensione del campione esaminato (numero di edifici, asse X) e corrispondente dettaglio di informazioni caratterizzanti richieste per ciascun edificio (asse Y), fonte IEA-ECBCS Annex 53.

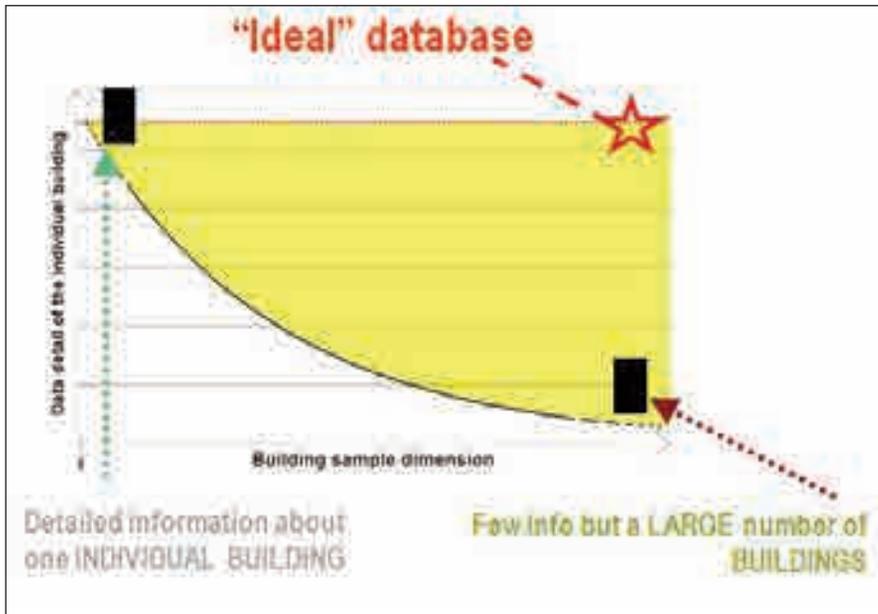


Figura 4. Proposta di caratterizzazione della struttura del database secondo IEA-ECBCS Annex 53.

Database Typology	Categories of influencing factors			
	I	II	III	IV
A	IF1: Outdoor Climate IF2: Building envelope IF3: Building equipment			IT: Social and economic aspects
B	IF1: Outdoor Climate IF2: Building envelope IF3: Building equipment	IF4: Operation & Maintenance IF5: Indoor Env. Conditions		IT: Social and economic aspects
C	IF1: Outdoor Climate IF2: Building envelope IF3: Building equipment	IF4: Operation & Maintenance IF5: Indoor Env. Conditions	IF6: Occupant behavior	IT: Social and economic aspects

Figura 5. Distribuzione degli edifici di un campione in funzione del periodo di costruzione: frequenza percentuale su asse Y primario (sinistra) e percentuale cumulata su asse Y secondario (destra).

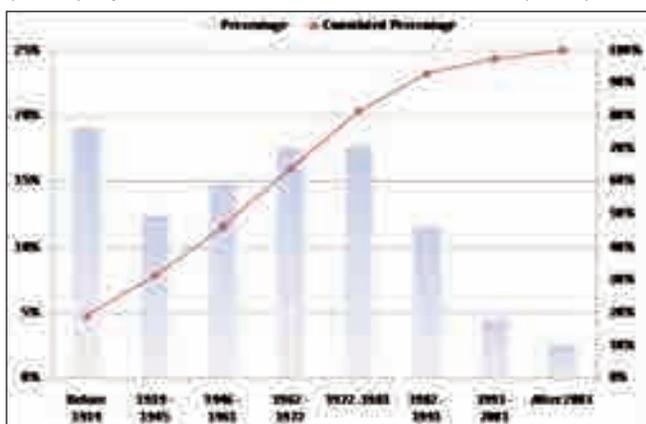


Figura 6. Distribuzione degli edifici di un campione in funzione del valore del medio della trasmittanza termica U [W/m^2K] (asse X) dei componenti di involucro trasparente: frequenza percentuale su asse Y.

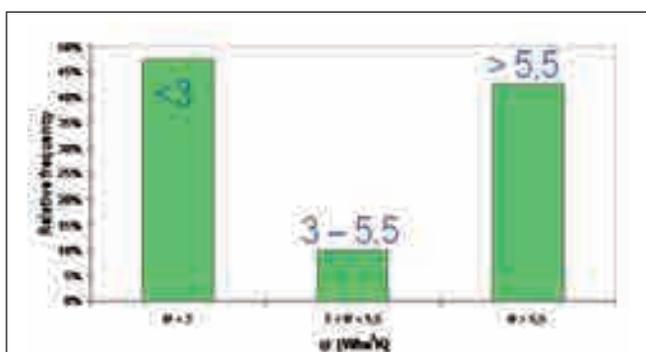


Figura 7. Consumo specifico [kWh/m^2 anno] tipico dell'edilizia residenziale italiana suddiviso per usi finali di energia (anno 2007, elaborazioni da fonte ENEA).

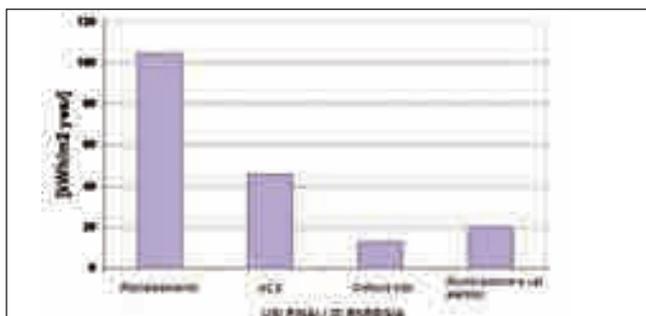
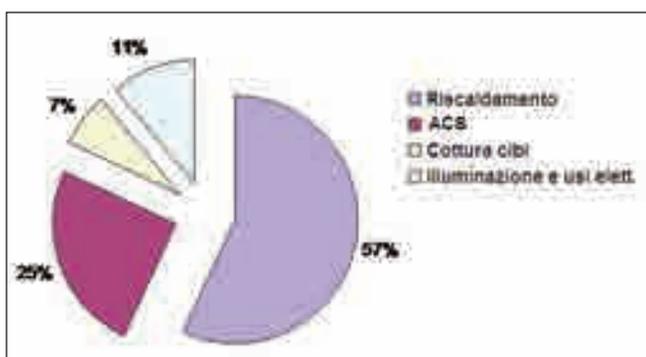


Figura 8. Diagramma a torta con la suddivisione percentuale del consumo suddiviso per usi finali di energia nell'edilizia residenziale italiana (anno 2007, elaborazioni da fonte ENEA).



(volumi, superfici, caratteristiche dell'involucro edilizio, caratteristiche degli impianti ecc.), cioè quelle grandezze che presentano una variazione nel tempo saltuaria e/o ben cadenzata su tempi lunghi (per effetto di manutenzioni e riqualificazioni, ma non per effetto delle dinamiche termiche quotidiane dell'edificio);

- dati/informazioni “dinamiche” (consumi, temperature, profili reali di occupazione ecc.), cioè quelle grandezze che presentano una continua variazione nel tempo e che sono oggetto del monitoraggio energetico-ambientale continuo.

I dati raccolti possono poi essere ricondotti ad una famiglia di fattori influenzati il consumo energetico. Il progetto IEA-ECBCS Annex 53 ha introdotto una utile suddivisione dei fattori influenzati in sei famiglie, come mostrato in figura 2:

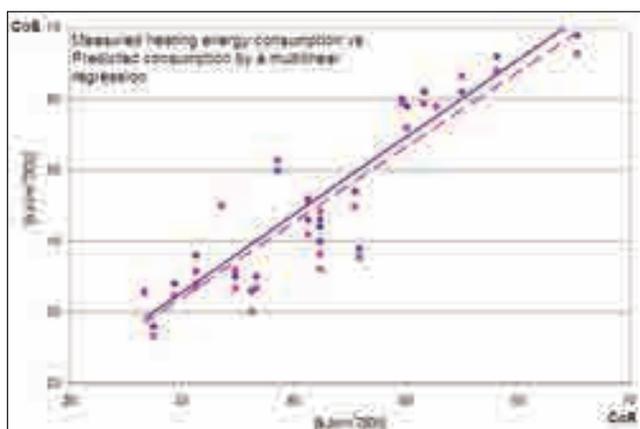
- clima esterno, involucro edilizio, sistema impiantistico a influenzano la prestazione energetica standard dell'edificio (per intenderci, da questi parametri dipende l'indice di prestazione energetica espresso nell'attestato di certificazione energetica);
- funzionamento & manutenzione, condizioni ambientali interne, comportamento dell'occupante a influenzano la prestazione energetica reale dell'edificio (per intenderci, il consumo effettivo dell'edificio).

Ai sei fattori sopra presentati, se ne aggiunge poi un settimo: il fattore socio-economico, che come ben noto può essere stimolo di azioni virtuose o meno per la riduzione dei consumi energetici.

Sempre secondo la proposta di IEA-ECBCS Annex 53, i database vengono suddivisi in base a tre criteri:

- categorie di fattori influenzanti rappresentate nel database (si noti infatti che sono pochi i database che raccolgono informazioni relative a tutte e 6 le categorie di fattori influenzanti);

Figura 9. Esempio di correlazione tra indice di consumo specifico normalizzato rispetto ai gradi giorno invernali ($DD = Degree Days$) ottenuto da dati misurati (indice CoR , asse X) e stimati attraverso un modello predittivo (indice CoS , asse Y).



A&RT

- scansione temporale di acquisizione delle grandezze “dinamiche”;
- numero di informazioni/dati relative a ciascuna categoria di fattori influenzanti.

È evidente che prima di tutto occorre definire con precisione il soggetto sul quale l'analisi intende focalizzarsi. Cercando forzatamente di creare delle famiglie di riferimento, possiamo dividere il soggetto delle analisi in 3 grandi famiglie:

- edificio singolo, quando l'analisi è indirizzata allo studio di uno specifico e singolo edificio (o, al più, ad un gruppo di edifici singoli);
- ampi patrimoni edilizi, quando l'analisi è indirizzata ad un gruppo statisticamente rappresentativo di edifici, che tipicamente presentano identica destinazione d'uso (residenziale, uffici, scuole ecc.) ed, eventualmente, ulteriori similarità;
- database estesi a livello nazionale o regionale, usati tipicamente per analisi di tipo statistico sviluppati su un numero estremamente elevato di edificio di cui si conoscono alcune caratteristiche rappresentative.

In generale, al fine di condurre le analisi con riferimento alle tre famiglie sopra definite, la relazione esistente tra il numero di edifici oggetto di analisi e il (minimo) numero di informazioni richieste per la descrizione di ciascun edificio può essere rappresentata attraverso un diagramma come quello di Figura 3.

Quando l'oggetto di studio è il singolo edificio, è necessario raccogliere un numero elevato di parametri per descrivere in modo sufficientemente esaustivo il comportamento energetico dell'edificio e l'analisi si può spingere fino alla disaggregazione dei consumi in ciascuno degli usi energetici finali (consumi per il riscaldamento, per il raffrescamento, per la ventilazione, per l'illuminazione ecc.). In sintesi, tanti dati per un solo edificio.

Al contrario, quando l'analisi è sviluppata su campioni edilizi estesi, fino ad arrivare al livello nazionale, possono essere sufficienti un numero relativamente contenuto di parametri descrittivi del comportamento energetico del campione oggetto di studio. In sintesi, pochi dati per tanti edifici.

Naturalmente la quantità e qualità dei dati necessari al popolamento del database sono strettamente funzione del metodo adottato e dell'obiettivo della analisi dei dati stessi: questo può variare da una caratterizzazione statistica del campione di edifici alla diagnosi energetica dettagliata di un caso particolare. Nel primo caso il database è contraddistinto da un numero significativo di edifici, ma come visto ognuno di questi può essere descritto da un numero anche limitato di parametri caratteristiche. Nel secondo caso il database si riferisce ad un solo edificio, che però è descritto in modo particolareggiato attraverso numerosi parametri caratterizzanti.

Dopo avere identificato chiaramente il soggetto dello studio, il database può essere strutturato come visto secondo due principali fattori:

1. le categorie di fattore influenzanti che vengono raccolte, con riferimento alle 6 categorie precedentemente introdotte;
2. la frequenza di campionamento/raccolta delle variabili descrittive dipendenti dal tempo (i consumi e i parametri dipendenti dal tempo che appartengono alle 6 categorie introdotte).

Con riferimento al punto 1 di cui sopra, secondo una proposta del progetto IEA – ECBCS Annex 53, la struttura del database può riferirsi a 3 “livelli”:

- Livello 1 – categorie di fattore influenzanti: clima, involucro edilizio, impianti;
- Livello 2 – categorie di fattore influenzanti: Livello 1 + controllo & manutenzione, condizioni ambientali indoor;
- Livello 3 – categorie di fattore influenzanti: Livello 2 + comportamento degli occupanti.

I tre livelli possono inoltre contenere informazioni relative al settimo fattore influenzante (aspetti sociali ed economici).

Conseguentemente, i database sviluppati e utilizzati possono essere classificati congruentemente alla “struttura” a cui possono essere ricondotti e collocati all'interno di una matrice come quella rappresentata in Figura 4.

Con riferimento al punto 2 prima introdotto, il database può essere strutturato in relazione alla raccolta dei parametri dipendenti dal tempo come segue:

- Livello 1* – frequenza: annuale;
- Livello 2* – frequenza: mensile;
- Livello 3* – frequenza: oraria (o sub-oraria).

È importante sottolineare che la struttura del database, ed in particolare la frequenza di campionamento dei dati, è fortemente correlata ai metodi di elaborazione e analisi dei dati che vogliono essere adottati.

3. Elaborazione dei dati

I dati raccolti sono elaborati per effettuare principalmente le seguenti analisi:

- analisi statistiche per la descrizione di parametri/grandezze legate al comportamento energetico degli edifici;
- studio dei principali fattori influenzanti i consumi energetici;
- analisi previsionali dell'andamento dei consumi energetici.

Di seguito sono proposti due tipici esempi di distribuzioni statistiche relative a grandezze che influenzano, ciascuna a sua modo, il consumo energetico degli edifici: la distribuzione in frequenza degli edifici un ampio

campione edilizio in funzione dell'anno di costruzione (frequenza percentuale e frequenza cumulata) e, per il campione stesso, la distribuzione in frequenza (percentuale) della trasmittanza termica delle componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

Di seguito viene invece presentato un altro esempio di utilizzo della statistica descrittiva per caratterizzare i consumi energetici degli edifici. In particolare è presentata la suddivisione degli usi finali di energia negli edifici residenziali italiani, ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati raccolti da ENEA (2007).

Viene infine presentato un esempio di modello predittivo. Esso esprime la correlazione esistente tra il consumo energetico per riscaldamento (specifico e normalizzato rispetto ai gradi giorno della stagione invernale) reale e quello calcolato attraverso un opportuno modello previsionale di tipo "lineare multi-variabile". Questa tipologia di modello è ampiamente impiegato nella pratica per la sua relativa semplicità di implementazione.

Bibliografia e sitografia

- M. Anstett, J.F. Kreider, *Application of neural networking models to predict energy use*, in «ASHRAE Transactions» 99 (1), 1993, pp. 505-517
- ASHRAE, *Inverse Modeling Toolkit*, ASHRAE Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers, Inc., Atlanta 2003
- F. Ariaudo, L. Balsamelli, S.P. Corgnati, *Evoluzione delle attività di monitoraggio energetico-ambientale di lungo periodo: uno strumento per la consulenza energetica*, in *Atti del 28° Convegno AICARR*, Padova, 16 Giugno 2011, pp. 151-163
- ASHRAE, *Energy Estimating and modeling methods*. ASHRAE Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers, Inc., Atlanta 2009
- M. Aydinalp-Koksal, V.I. Ugursal, A.S. Fung, *Modeling of the appliance, lighting, and spacecooling energy consumptions in the residential sector using neural networks*, in «Applied Energy» 71, 2002, pp. 87-110
- M. Aydinalp-Koksal, V.I. Ugursal, A.S. Fung, *Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks*, in «Applied Energy» 79, 2004, pp. 159-178
- M. Aydinalp-Koksal, V.I. Ugursal, *Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector*, in «Applied Energy» 85, 2008, pp. 271-296
- S.P. Corgnati, V. Corrado, M. Filippi, *A method for heating consumption assessment in existing buildings: a field survey concerning 120 Italian schools*, in «Energy and Buildings», 40, 2008, pp. 801-809
- S.P. Corgnati, M. Caldera, M. Filippi, *Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings*, in «Energy and Buildings», 40, 2008, pp. 1972-1983
- S.P. Corgnati, T. Bellone, F. Ariaudo, *Previsione dei consumi per il riscaldamento ambientale di edifici esistenti con approccio statistico: il caso delle scuole*, in *Atti del Congresso ATI*, Montesilvano, settembre 2009
- S.P. Corgnati, V. Fabi, M. Filippi, N. Talà N, *Statistical analysis methods to investigate energy use in buildings*, in *Proceedings of 3rd International Conference Palenc 2010*, Rhodes Island, Greece, 29 September-1 October 2010, vol. 1, pp. 1-12,
- S.P. Corgnati, L. Balsamelli, F. Ariaudo, *Monitoraggio ambientale per la diagnosi energetica*, in «Casa & Clima» 27, 2010, pp. 62-65
- S.P. Corgnati et al., *Indoor Climate Quality Assessment*, Rehva Guidebook, Rehva, Brussels 2011
- European Union, *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*, in «Official Journal of the European Communities», January 4, 2003
- A.H. Neto, F.A. Fiorelli, *Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption*, in «Energy and Buildings» 40, 2008, pp. 2169-2176
- www.ecbcsa53.org

Sistema di monitoraggio e interventi per la riduzione dei consumi energetici nei siti bancari

Monitoring and actions to reduce energy consumption in banks

ROBERTO GERBO

Roberto Gerbo, Energy Manager di Intesa Sanpaolo (Corporate Social Responsibility).
roberto.gerbo@intesasanpaolo.com

L'attenzione politica verso le tematiche della eco-sostenibilità ha portato il Consiglio Europeo al varo di un importante accordo che prevede entro il 2020 il raggiungimento di obiettivi virtuosi in tema di crescita delle energie rinnovabili e del risparmio energetico, oltre che di riduzione delle emissioni. In Italia anche il maggior costo del kWh rispetto agli altri Paesi industrializzati ha portato da tempo a riconoscere l'energia come componente strategica fondamentale per migliorare il livello di competitività. Le ricadute virtuose di queste azioni possono incidere anche sul tessuto economico del Paese. In una azienda occorrono alcuni passaggi propedeutici essenziali per il raggiungimento di obiettivi di miglioramento dell'impatto ambientale.

Policy towards eco-sustainability has led the European Council at the launching of an important agreement for the achievement by 2020 of virtuous goals on growth of renewable energy and energy conservation, as well as emission reduction.

In Italy, also because of the energy cost per kWh higher than the one of other industrialized countries, energy has been recognized as a key strategic component in order to improve the level of competitiveness. The impact of these virtuous actions are also likely to affect the economy of the country. In a company, a few preparatory steps are essential to achieve the objectives of reducing the environmental impact.

1. Contesto di riferimento

1.1. La Politica Ambientale e rispetto standard internazionali

Il Gruppo Intesa Sanpaolo da tempo si è dotato di una Politica Ambientale che delinea l'approccio della Banca nella prevenzione, gestione e riduzione degli impatti ambientali generati sia dalla propria attività (impatti diretti, tra cui rientra il risparmio energetico) sia da quella di clienti e fornitori (impatti indiretti).

Il Gruppo è impegnato a rispettare gli standard espressi dall'UNEP FI, il Programma Ambientale delle Nazioni Unite, ha sottoscritto i principi del Global Compact, partecipa al Carbon Disclosure Project attraverso il quale dà piena visibilità alla comunità di investitori sulle emissioni inquinanti e sulle strategie per mitigare il cambiamento climatico e, infine, aderisce agli Equator Principles, linee guida volontarie per valutare e mitigare gli impatti socio-ambientali dei grandi progetti infrastrutturali promosse da un gruppo di banche internazionali sulla base dei criteri emanati dall'International Finance Corporation (IFC), emanazione della Banca Mondiale.

1.2. Presidio degli Impatti diretti nel Gruppo Intesa Sanpaolo

Per gli impatti diretti una struttura interna appositamente dedicata alla sostenibilità ambientale ha il compito di coordinare l'applicazione organica delle

politiche e delle strategie aziendali in materia ambientale. In tale ambito la figura dell'Energy Manager garantisce il presidio della politica energetica del Gruppo, la redazione del bilancio energetico aziendale, l'individuazione e la promozione di iniziative volte a razionalizzare i consumi e a migliorare l'efficienza energetica per ridurre le emissioni inquinanti.

Il presidio dei consumi energetici nel settore bancario è prioritario in quanto si tratta anche di una rilevante spesa amministrativa. In banca si usa prevalentemente energia elettrica, sia per la crescente diffusione di apparecchiature da ufficio e di nuovi servizi, sia per il maggiore ricorso alla climatizzazione. Infatti per Intesa Sanpaolo i consumi elettrici rappresentano circa il 70% dei consumi energetici complessivi, anche per l'utilizzo diffuso, nei punti operativi, di pompe di calore elettriche al posto delle tradizionali caldaie, macchine evolute a elevata performance energetica, che permettono dove sono presenti di evitare l'emissione di fumi nocivi nei centri abitati. Per dare un'idea dell'importanza di tali consumi può essere utile sapere che, mentre un cittadino consuma circa 1100 kWh elettrici all'anno, il fabbisogno pro-capite nel settore bancario è mediamente sei volte tanto. Se si considerano le dimensioni di Intesa Sanpaolo, uno dei maggiori gruppi bancari non solo europeo, con circa 80.000 dipendenti e circa 6.000 Filiali in Italia, scopriamo che esso consuma l'equivalente di energia elettrica necessaria a una città di 500.000 abitanti.

1.2.1. Forniture energetiche da fonti rinnovabili

Si segnala che, in linea con la politica ambientale, grazie all'utilizzo di energia elettrica da fonte rinnovabile (proveniente da fonte idroelettrica certificata) in quasi tutti i suoi punti operativi, il Gruppo ha evitato nel 2009 l'emissione di circa 240.000 tonnellate di CO₂, corrispondenti alla CO₂ assorbita da circa 8 milioni di alberi!

1.2.2. Il Sistema di Gestione Ambiente Energia (SGAE)

A oggi 180 filiali del Gruppo sono oggetto della certificazione ISO 14001 e fanno parte del Sistema di Gestione Ambiente Energia. Intesa Sanpaolo è la prima Banca al mondo a essere anche certificata ISO 16001, utilizzando procedure e metodi di analisi specificatamente realizzati, applicati su tutto il perimetro aziendale, che hanno suscitato grande interesse da parte di strutture universitarie e del mondo degli Energy Manager, specie per i sistemi di monitoraggio.

2. L'energy management

In Intesa Sanpaolo per raggiungere gli obiettivi di contenimento dei consumi il Gruppo ha attivato iniziative di monitoraggio, ottimizzazione gestionale, razionalizzazione e innovazione. Prioritaria è la conoscenza approfondita dei

vari aspetti energetici, ossia degli ambiti di utilizzazione quali illuminazione, climatizzazione, macchine da ufficio, ecc.. Solo un'attenta valutazione di tutti i consumi energetici consentirà di raggiungere pienamente gli obiettivi comunitari in materia (il cosiddetto Pacchetto 20/20/20), come pure il miglioramento dell'efficienza energetica.

L'analisi dei consumi elettrici è articolata in base a zona geografica, dimensione e tipologia dell'impianto di climatizzazione con lo scopo di individuare non solo i consumi totali reali, ma anche quelli dei singoli utilizzatori.

2.1. Le filiali laboratorio

Nel 2008 è stato avviato un progetto pilota che interessa 24 filiali di diversa dimensione, collocate in varie zone geografiche d'Italia e riscaldate con caldaia tradizionale o pompa di calore. Attraverso l'installazione di strumenti di misurazione denominati *datalogger* è stato possibile definire la percentuale di incidenza dei vari aspetti energetici.

Grazie a tale fotografia della situazione reale è aumentata la conoscenza di diversi aspetti relativi ai consumi elettrici della Banca. Si è così attestato che l'incidenza dell'illuminazione artificiale nel periodo lavorativo è stabile attorno ai 9-10 Watt/m²; l'assorbimento da parte delle macchine da ufficio e apparecchiature similari – aspetto generalmente trascurato – nell'orario di lavoro rimane intorno ai 7-12 Watt/m², e circa l'80% di esso avviene continuamente fuori dall'orario di lavoro. Mentre l'assorbimento elettrico per gli impianti di climatizzazione tradizionali è correttamente concentrato durante l'orario di lavoro mentre per gli impianti a pompa di calore si rilevano consumi significativi (presumibilmente anche per il più basso livello termico del fluido generato - acqua calda) anche negli orari extralavorativi, a eccezione del sud Italia.

N.B.: Le esperienze delle filiali laboratorio hanno portato a dotare le nuove filiali/ristrutturate di un *datalogger* per il rilievo dei consumi elettrici totali e della temperatura in un locale significativo. L'azione descritta ha coinvolto con successo più di 600 filiali a oggi.

Trattasi di un sistema informativo più di dettaglio (possibilità di valutare nel breve gli andamenti orari degli assorbimenti e delle temperature) rispetto ai dati provenienti dai flussi informativi dei fornitori elettrici.

2.2. Monitoraggio per l'ottimizzazione, risparmio energetico gestionale e incremento della efficienza energetica

Sulla base dei consumi comunicati mensilmente dal fornitore secondo le articolazioni suddette (zona climatica, tipo di impianto, superficie) e attraverso apposita procedura informatica, è possibile individuare target di riferimento che hanno consentito di determinare per confronto i punti prioritari di intervento (target filiale).

Il monitoraggio è di tipo sistematico ed articolato su più livelli.

Figura 1. Il contesto e il perimetro di azione.

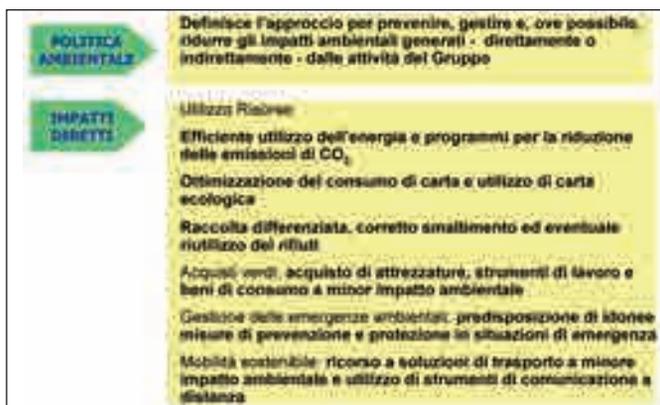


Figura 3. Il sistema di gestione qualità, il sistema di gestione dell'energia, il sistema di gestione ambientale.

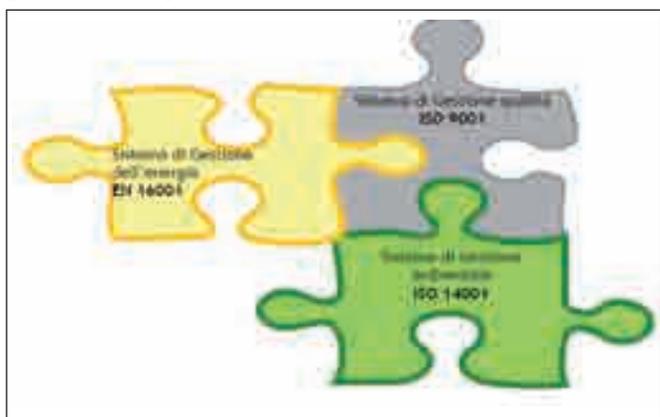


Figura 5. Il processo di monitoraggio dei consumi (già in linea con la norma UNI EN 16001).

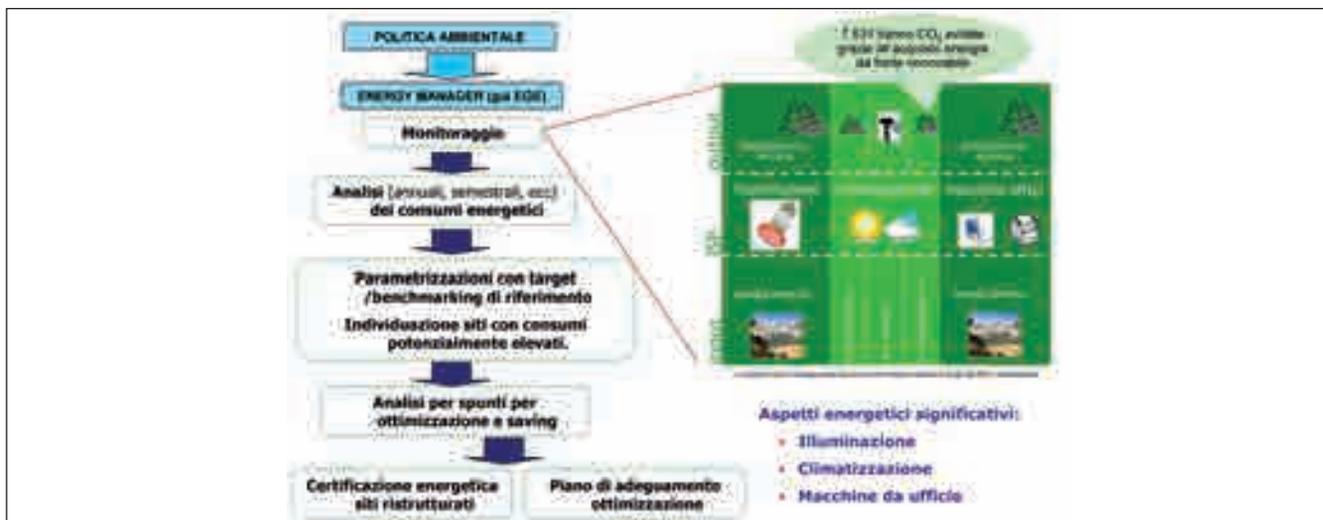


Figura 6. L'incidenza dei consumi elettrici in Intesa Sanpaolo.

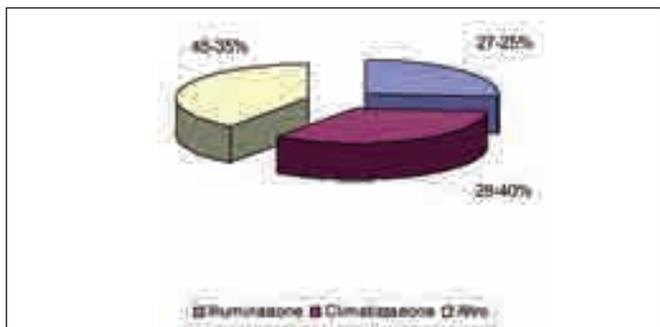


Figura 2. Una struttura dedicata all'ambiente: CSR – Sostenibilità ambientale.



Figura 4. La norma UNI CEI IT 16001:2009: metodologia di intervento.



Figura 7. I livelli di analisi progressiva.



Figura 8. Livello 2. ISP e Banche Rete: monitoraggio dei consumi elettrici di Filiali (DIA, in accordo con CSR – Energy Manager).

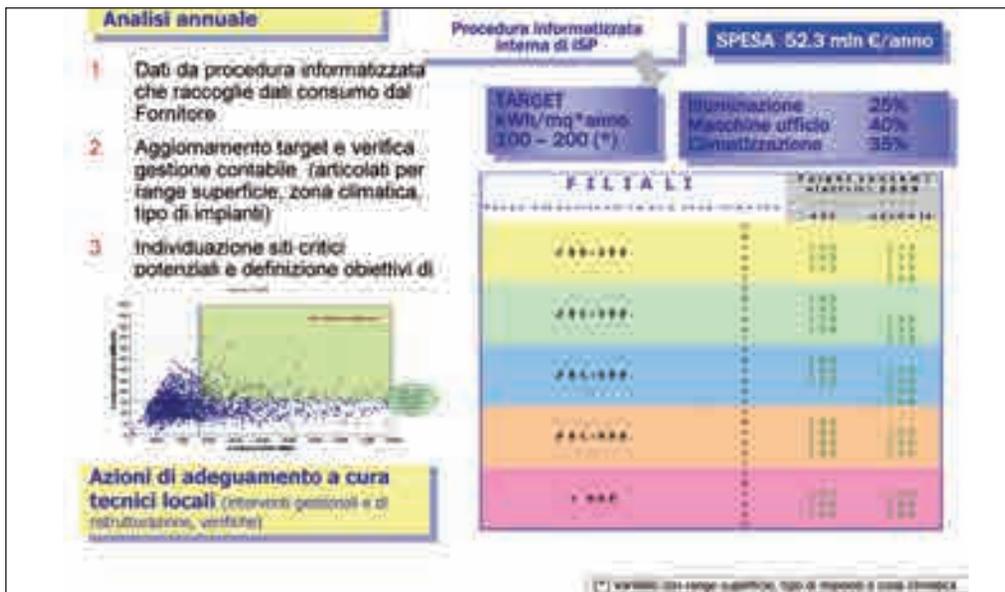


Figura 9a. Livello 2. ISP e Banche Rete: target consumi elettrici unitari mensili e confronto per tipologia di impianti (CSR – Energy Manager).

Figura 9b. Livello 3. ISP e Banche Rete: monitoraggio dei consumi elettrici e della temperatura via web - laboratorio (CSR – Energy Manager).

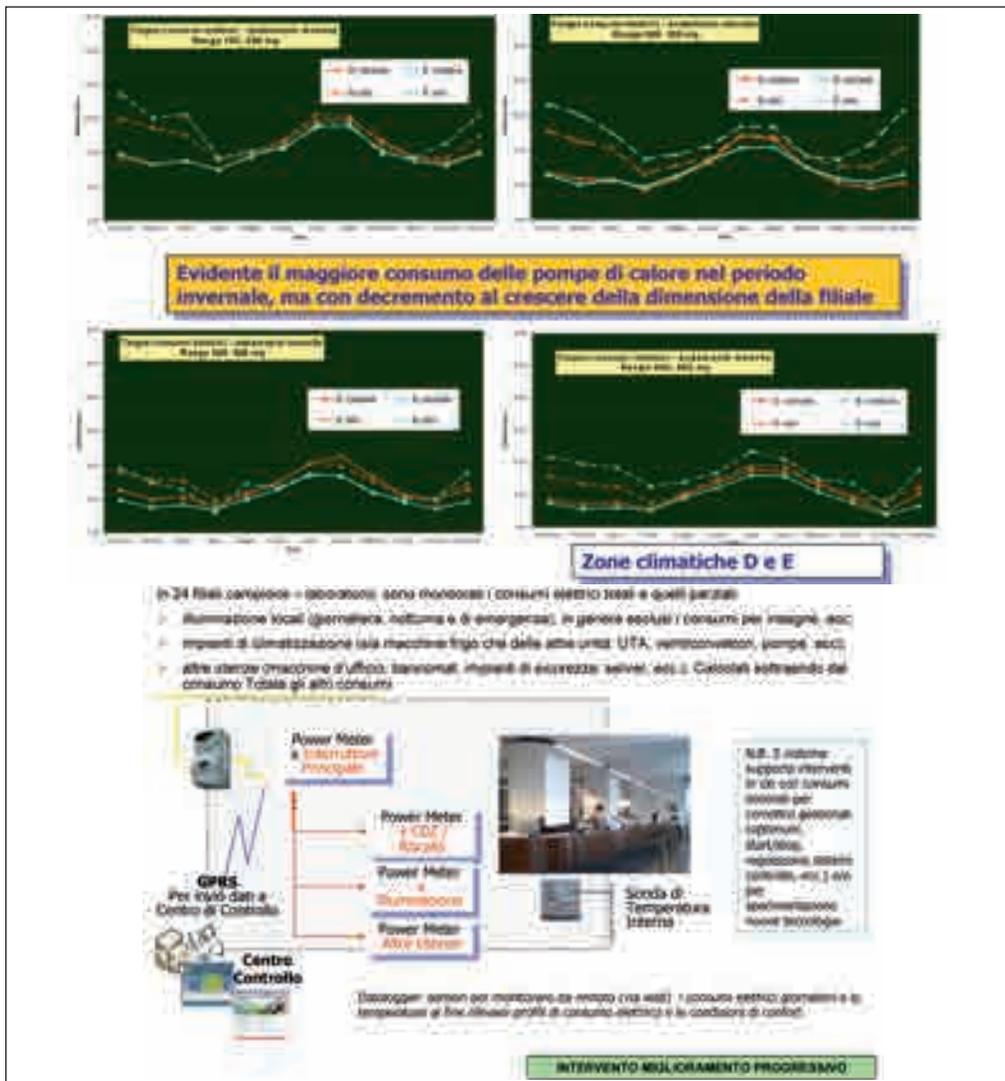


Figura 10. Progetto triennale di Energy Saving dei consumi elettrici in Italia. Figura 11. Interno di una filiale.

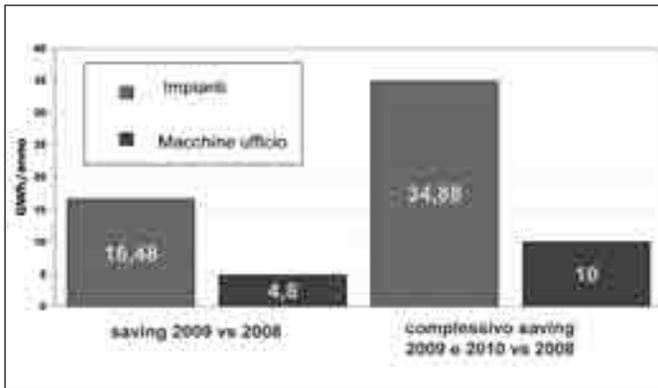


Figura 12. Acquisto di macchine da ufficio con criteri di sostenibilità. Perimetro di applicazione al 31.12.2010.

		Stampanti e a impatto	Stampanti laser	PC/server	Monitor LCD (*)	PC portatili
Stima parco macchine ISP e Banche Rete (fine 2010)	q ⁿ	41.300	36.500	44.300	48.300	8.900
Consumi macchina ante sostituzione (<2008)	kWh/anno (W active)	112 (40)	260 (600)	422 (75)	149(30)	225 (90)
Spesa energetica per macchina ante sostituzione (<2008)	euro/anno	18	42	68	24	38
Macchine nuova generazione		-	922	41952	88493	-
Consumi nuove macchine	kWh/anno (W active)	-	135 (480)	221(40)	-	-

Il parco macchine si completa con 9.800 fotocopiatrici/DMF (vecchi modelli 1200 kWh/anno; nuovi modelli 694 kWh/anno) e 7400 bancomat (3504 kWh/anno), per un totale di 283225 macchine.

Per un consumo annuo di 95 MWh, pari a una spesa di 15 mil €/anno, al netto dell'energia per il raffreddamento, in tale consuntivo sono ricomprese 131357 macchine di nuova generazione

(*) Monitor CRT - Consumo 127kWh/anno (W active=80)

Figura 13. Acquisto di macchine da ufficio con criteri di sostenibilità. Rilevi delle prestazioni energetiche.

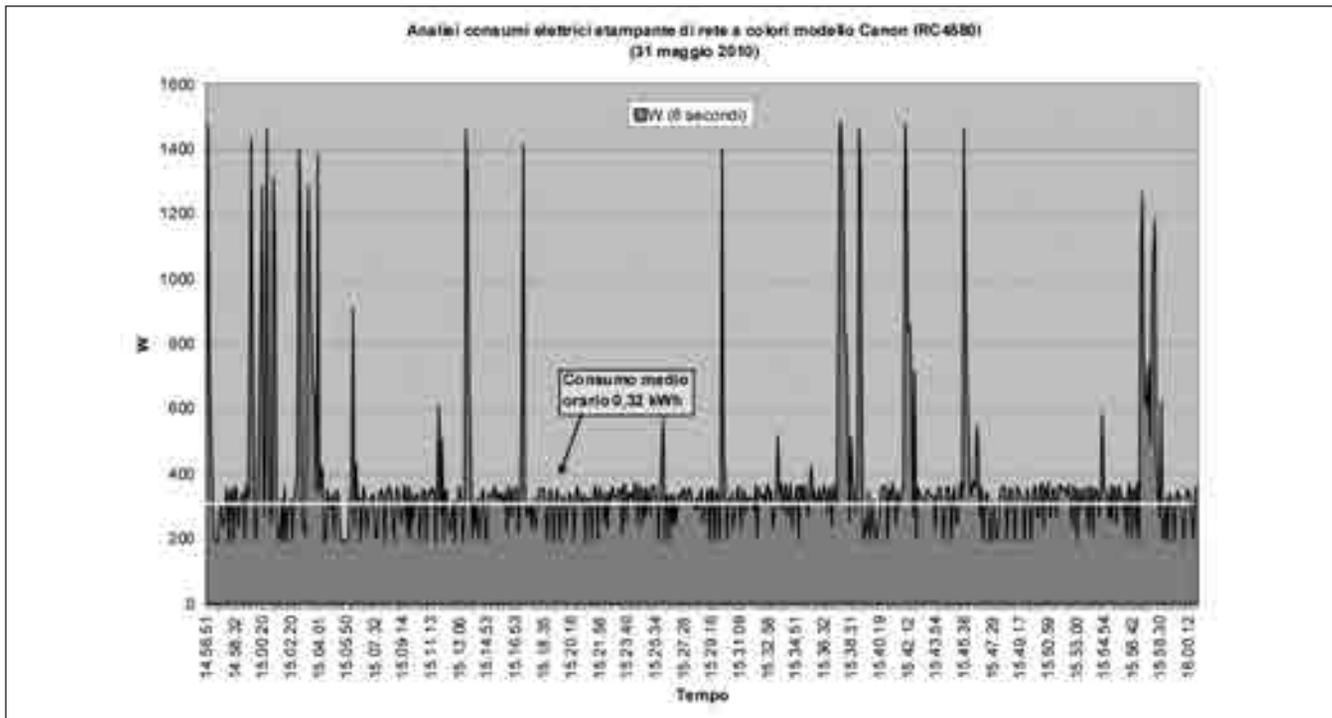


Figura 14. Analisi dei consumi elettrici dei PC.

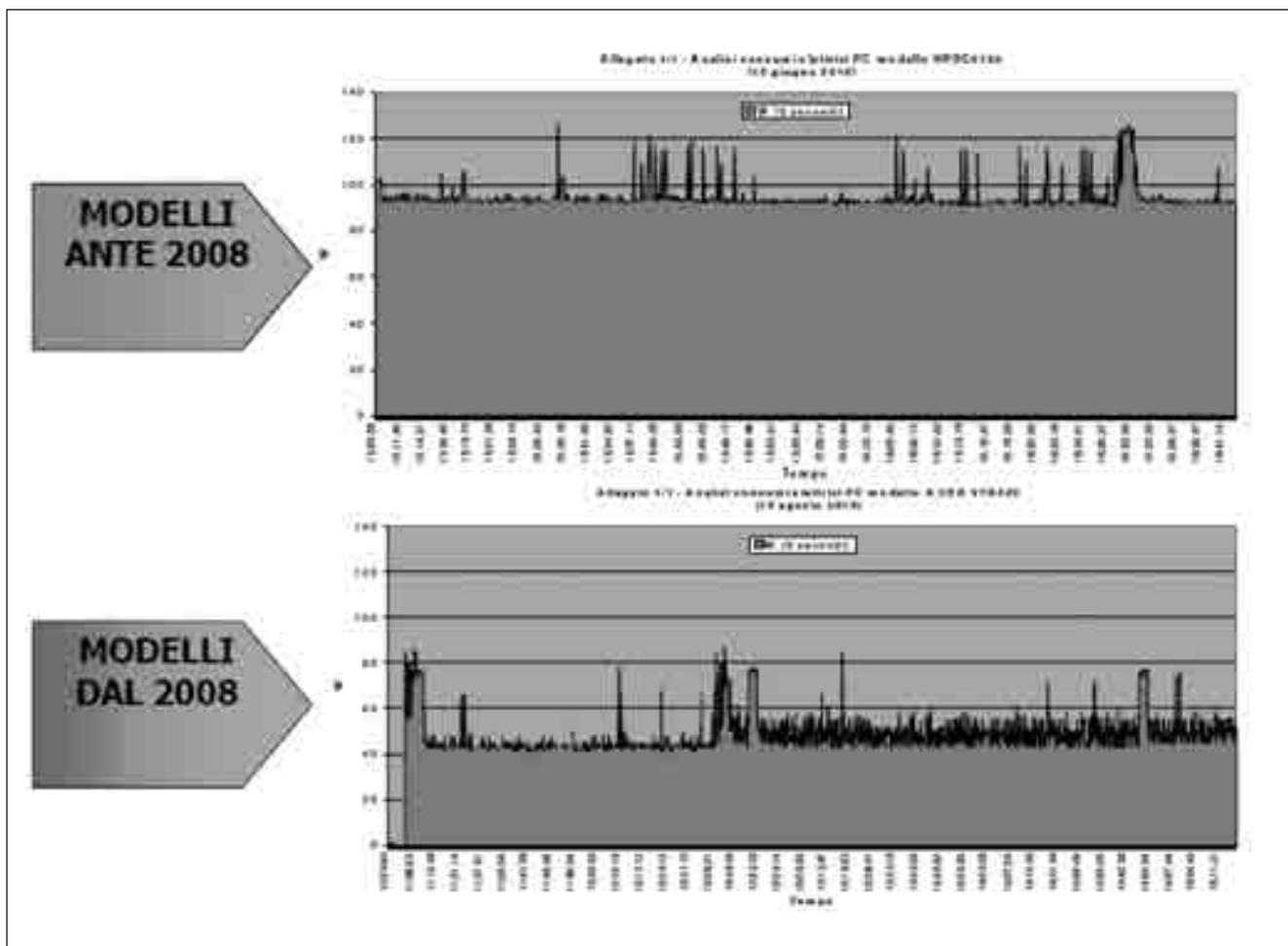


Figura 15. Il percorso di formazione "Ambientiamo".

miainformazione
LA FORZA DEL CAPPAZZAMENTO

ambientiamo
"Il risparmio energetico al lavoro"
Guarda il nuovo video e prosegui con il webgame

ambientiamo
Oggi c'è qualcuno che può fare la differenza nella salvaguardia dell'ambiente... TU
Vuoi saperne di più? Clicca qui

Le tappe del percorso formativo crossmediale

- LA GESTIONE DEI RIFIUTI
- IL RISPARMIO ENERGETICO IN CASA
- IL RISPARMIO ENERGETICO IN UFFICIO
- INVESTI VERO

Nel caso di problemi nel visualizzare le tappe del percorso puoi scrivere a inform@studiosinpaoli.com

A&RT

È stato possibile definire dei target di riferimento, sia annuali che mensili.

La disponibilità di dati consente anche di valutare le prestazioni di soluzioni tecnologiche alternative, specie a livello di impianti di climatizzazione.

Nei siti certificati SGAE il monitoraggio del solo consumo elettrico prevede l'individuazione tempestiva, anche attraverso *datalogger*, dei casi di superamento dei target stagionali in orario di lavoro e orario notturno/festivo. Ciò determina l'invio automatico, con frequenza giornaliera, di una mail di segnalazione (*alert*) ai tecnici preposti e, a seconda dei casi, anche alla ditta di *facility management*. Si segue una modalità analoga per il monitoraggio della temperatura dell'ambiente, al fine di valutare se questa si mantenga entro valori accettabili sia dal punto di vista del benessere delle persone sia da quello normativo. Grazie alla tempestività delle segnalazioni si possono anche prevenire le situazioni di criticità, limitando al minimo gli interventi *in situ* da parte dei manutentori. Il *datalogger* serve anche per verificare l'idoneità delle azioni di miglioramento.

Nelle nuove filiali, o in quelle ristrutturare, viene installato un *datalogger* che rileva l'andamento dei consumi elettrici e monitora il livello di temperatura, altro elemento

determinante per l'efficienza energetica, soprattutto nel caso di rilevazione di eccesso del calore prodotto dalle macchine da ufficio all'interno di locali con impianti di climatizzazione spenti.

2.3. I risultati raggiunti e gli obiettivi

Le riduzioni ottenute con l'ottimizzazione gestionale hanno raggiunto il 15-20% nelle filiali fuori target.

Con l'ottimizzazione gestionale, l'efficientamento energetico, la sostituzione delle macchine da ufficio e lo spegnimento notturno automatico dei pc, nel 2009 si è raggiunto un risparmio di 6950 tonnellate equivalenti di petrolio (tep) e si sono evitate emissioni di CO₂ pari a 14,5 milioni di Kg.

È stato avviato un piano triennale con obiettivi prefissati, che per ora sono stati superati.

3. Interventi innovativi per il risparmio energetico

3.1. Illuminazione a led

Sul fronte dell'efficienza energetica degli impianti di illuminazione, che già prevedono tubi fluorescenti con reattori elettrici con certificazione europea *GreenLight*, Intesa Sanpaolo ha realizzato, a titolo sperimentale, impianti di illuminazione a led che assicurano gli standard di benessere

Figura 16. I riconoscimenti.



adeguati secondo la normativa europea UNI EN 12464, senza per questo alterare lo standard architettonico adottato comunemente dalla Banca.

Oltre a garantire una durata particolarmente elevata rispetto al sistema tradizionale, l'impianto a led consente la regolazione automatica in funzione dell'illuminazione naturale e delle esigenze personali e non produce rifiuti contenenti mercurio.

Per ciascuna zona è previsto un punto di comando manuale a disposizione dei dipendenti che possono "forzare" manualmente l'accensione e lo spegnimento, nonché modificare temporaneamente il livello di illuminazione di una specifica zona di lavoro.

Una tipologia di impianto siffatta è molto versatile e può essere replicabile in settori diversi da quello bancario, senza vincoli di diffusione su tutto il territorio nazionale. Si stima che questo sistema consenta a Intesa Sanpaolo un risparmio energetico di circa il 30%, una riduzione media annua di circa 300 kg di CO₂ per ogni filiale.

3.2. Macchine da ufficio: approccio green

Nel settore bancario, una parte consistente dei consumi energetici è imputabile alle "macchine": PC, monitor, stampanti, fotocopiatrici, server, sistemi IT (gestione e trasmissione dati, security, monitoraggio), e apparecchiature a supporto dei servizi (bancomat, terminali informativi) utilizzate negli uffici.

Per eliminare i consumi notturni delle macchine non spente dai colleghi è stata attivata una procedura informatizzata basata sulla tecnologia *Wake on LAN* (WOL), in grado di spegnere da remoto quasi tutti i PC delle 6.000 filiali dalle ore 21 alle ore 7 nei giorni lavorativi e completamente nelle giornate di sabato, domenica e festivi. Le macchine si riaccendono automaticamente in caso di aggiornamento dei software e, comunque, prima dell'inizio delle attività operative delle postazioni di sportello. La soluzione sviluppata, innovazione replicabile in tutte le aziende che presentano postazioni di lavoro in rete, si appoggia su due componenti software: il primo di tipo *client* (installato su tutte le postazioni di filiale) e il secondo di tipo *server* (installato sui server di filiale). Lo spegnimento forzato porta a un risparmio di energia notevole: il risparmio di Intesa Sanpaolo è stato quantificato in 102 kWh/anno per ogni macchina, a seguito di rilevamenti sul posto. Per ciascun PC si evitano emissioni di CO₂ pari a circa 60 kg/anno che, rapportate ai circa 47.000 gestiti a fine 2009 dalla procedura, rappresentano circa 2.900 tonnellate annue di CO₂ non immesse in atmosfera, pari alla CO₂ assorbita da 96.000 alberi.

Un'altra azione mirata è quella che ha riguardato la sostituzione progressiva delle macchine da ufficio con altre

energeticamente più efficienti. Per i nuovi acquisti di queste macchine sono state definite specifiche contrattuali di sostenibilità ambientale (consumi energetici, aspetti ambientali, sicurezza elettrica ecc.) sulla base di normative vigenti e/o di *best practice*. Per la attestazione delle stesse vengono richieste, in fase di offerta, certificazioni sia del prodotto che dell'azienda fornitrice (ad es. ISO 14001), alcune delle quali vincolanti per l'accettazione dell'offerta.

Per la valutazione tecnica dell'offerta è stato elaborato un algoritmo standardizzato di valutazione delle prestazioni ambientali e energetiche, con pesi precisi per le prestazioni ambientali, le certificazioni ambientali e la sicurezza.

Quanto alla valutazione economica, sulla base dei consumi energetici dichiarati, riferiti alla metodologia Energy Star – riconosciuta come riferimento dalle Direttive CEE in materia – i costi di esercizio vengono considerati per periodo di vita media della macchina (4-5 anni) e si vanno a sommare al prezzo di investimento iniziale.

4. La sensibilizzazione interna e verso l'esterno

Proprio per i collaboratori è nato il percorso di formazione "Ambientiamo", con l'obiettivo di accrescere la consapevolezza delle conseguenze che i comportamenti dei singoli hanno sull'ambiente e di fornire informazioni sul contenimento dei consumi e/o sull'utilità del recupero. Ambientiamo è caratterizzato da vari momenti di apprendimento (video, *webgame* e moduli di approfondimento) per condividere suggerimenti e rafforzare la sensibilità ambientale di ciascuno.

Al fine di verificare l'interesse dei dipendenti alla tematica, dopo alcuni mesi dall'attivazione è stato avviato un blog sull'Ambiente che ha stimolato una grande partecipazione, segno evidente dell'interesse condiviso nei confronti dell'argomento.

Intesa Sanpaolo aderisce a numerose iniziative di sensibilizzazione quali la trasmissione di Radio2 Rai "M'illumino di meno" e la "Giornata Mondiale dell'Ambiente" con azioni di comunicazione mirate verso la clientela tramite i supporti informativi disponibili su bancomat/ATM, sito internet e in Filiale. Intesa Sanpaolo ha attivato per i propri collaboratori convenzioni per l'acquisto di prodotti eco-compatibili quali motorini ecologici, carica batterie a energia solare, apparecchi con illuminazione a led, dispositivi elimina *stand-by* e simili.

5. I riconoscimenti

Grazie a questi e altri progetti, alcuni particolarmente innovativi, il Gruppo ha raggiunto significativi risparmi energetici ed economici e ha ottenuto prestigiosi riconoscimenti a livello nazionale e internazionale.

A&RT

Efficientamento energetico dei palazzi uffici eni

Energy retrofitting of the eni office buildings

GIOVANNI LA BELLA, PAOLO STRADA, ATTILA OLDANO

Giovanni La Bella, ingegnere, Direttore operativo, eniservizi S.p.A.
giovanni.labella@eniservizi.eni.it

Paolo Strada, ingegnere, Responsabile Engineering, eniservizi S.p.A.
paololuigi.strada@eniservizi.eni.it

Attila Oldano, ingegnere, Responsabile B.U. Energy, Openplan S.r.l.
attila.oldano@recchi-informatica.com

La sostenibilità è parte integrante della cultura e della storia eni, rappresenta il motore di un processo di miglioramento continuo e trasversale all'interno dell'azienda che ne rafforza il processo di sviluppo e valorizzazione.

Il progetto "eni building energy saving" è una delle iniziative messe in atto da eni con lo scopo di definire uno standard operativo e metodologico per l'efficientamento dei palazzi uffici.

Il modello concettuale sviluppato pur mantenendo una certa precisione nei risultati, non richiede un'elevata specializzazione e consente con rapidità la valutazione di misure di efficienza energetica.

Il modello, applicato a quattro edifici campione, si è dimostrato valido ed ora è in corso l'estensione del perimetro del progetto ai restanti edifici.

La sua estensione consoliderà i risultati e dovrà portare ad una riduzione di CO₂ in linea con la politica eni.

A conclusione del progetto sono state sviluppate le "Linee guida dell'energy saving", che costituiscono oggi la guida metodologica per i building manager eni per l'ottenimento di miglioramenti energetici nei propri edifici, utilizzando un sistema omogeneo di valutazione con strumenti standardizzati.

Sustainability is an integral part of eni's culture and history, is the engine of a process of continuous improvement which cross inside the company and strengthens the development.

The project "eni building energy saving" is one of the initiatives implemented by Eni with the aim of defining a methodology and operational standard for the energy retrofit of office buildings.

The conceptual model that was developed, while maintaining a degree of precision in the results, does not require highly specialized input data and allows for a quick evaluation of energy efficiency measures.

The model, applied to four sample buildings, has proved to be successful. The extend of this project to the remaining buildings is now in progress.

This extension will consolidate the results and bring a reduction of CO₂ emissions in line with the eni policy.

At the conclusion of the project, the "Guidelines for the energy saving" were developed. They are today the methodological reference for eni building managers for obtaining energy improvements in their facilities, using a homogeneous assessment system with standardized instruments.

1. Introduzione

La sostenibilità è parte integrante della cultura e della storia eni, rappresenta il motore di un processo di miglioramento continuo e trasversale all'interno dell'azienda che ne rafforza il processo di sviluppo e valorizzazione.

Una delle iniziative messe in atto da eni è il progetto "eni building energy

saving” illustrato in questo articolo, il cui scopo è stato quello di definire uno standard operativo e metodologico per l’efficientamento dei palazzi uffici.

L’iniziativa ha coinvolto quattro edifici campione sui quali è stata verificato il modello concettuale sviluppato nell’ottica di estendere il processo di ottimizzazione ad altri edifici.

Il modello sviluppato, pur mantenendo una certa precisione nei risultati, non richiede un’elevata specializzazione e consente con rapidità la valutazione di misure di efficienza energetica.

Le “*Linee guida dell’energy saving*”, sviluppate a conclusione del progetto, costituiscono oggi la guida metodologica per i building manager eni per l’ottenimento di miglioramenti energetici nei propri edifici, utilizzando un sistema omogeneo di valutazione con strumenti standardizzati.

2. Obiettivi del progetto

Lo *scope of the work* è l’ottimizzazione del comportamento energetico dei palazzi uffici eni, la valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi individuati e la diffusione di una cultura di *energy saving*.

Il lavoro è stato affrontato sistematicamente utilizzando la BSD (*break-down structure*) riportata in Figura 1.

Il progetto è stato quindi sviluppato attuando i seguenti punti:

- sviluppo di un modello standard per la raccolta e la valutazione dei dati necessari all’analisi del comportamento energetico degli edifici;
- individuazione o sviluppo di un software per l’elaborazione delle informazioni rilevate e per la simulazione del comportamento energetico degli edifici a fronte di possibili interventi migliorativi individuati nonché in grado di supportare la definizione di piani di *saving*, in termini tecnici ed economici;
- verifica del sistema attraverso l’esecuzione di test di affidabilità;
- applicazione del sistema a quattro diverse tipologie di edificio, in differenti contesti, al fine di valutarne la validità e l’affidabilità;
- elaborazione dell’analisi energetica per i casi individuati, definizione degli interventi di *saving* in termini di fattibilità tecnica e ritorno economico,
- definizione del perimetro di applicazione in termini di numero e tipologia di palazzi eni ai quali estendere l’analisi energetica sulla base di criteri economici, di immagine e di sostenibilità;
- pianificazione delle attività di estensione dell’analisi energetica al perimetro individuato in termini di tempi, costi e fattibilità.

3. Il modello concettuale

È stato elaborato un modello concettuale i cui principali requisiti possono essere così riassunti:

- caratterizzato da un impalcato o struttura in grado di recepire gli input successivamente descritti, elaborandoli in modo da ottenere significative informazioni sui possibili *saving* energetici;
- composto da moduli informatici facilmente comprensibili, gestibili e compilabili sia da operatori tecnici che gestionali;
- rigoroso nel calcolo;
- affidabile e quindi calibrato per confronto tra i consumi calcolati e quelli misurati;
- consente un confronto tra diversi edifici in base ad indici e a parametri uniformi;
- permette simulazioni per verificare le ipotesi di miglioramento;
- la rappresentazione energetica dell’edificio deve partire dalla raccolta dei dati impiantistici e strutturali, di orientamento dell’edificio, dei dati relativi alle caratteristiche climatiche della zona e delle fatture per l’approvvigionamento dei servizi di utilities;
- fare riferimento alla normativa vigente.
- permettere un’analisi sugli scostamenti più significativi e fornire gli strumenti necessari e sufficienti per formulare prime proposte operative di *saving* energetico che rientrino nelle seguenti categorie: interventi gestionali, interventi impiantistici e interventi sull’involucro edilizio.

Definiti i requisiti principali è stata condotta un’analisi del software di modellizzazione in commercio, tenendo in considerazione tre fattori fondamentali: l’affidabilità, la semplicità d’uso e la quantità di informazioni necessarie alla realizzazione del modello.

L’indagine ha evidenziato che i programmi sono di tre tipologie:

- software per la certificazione energetica;
- software per la gestione;
- software per la progettazione.

I primi hanno un livello di difficoltà basso, con un input semplificato, ma analizzano l’edificio in condizioni standard e non dinamiche non fornendo quindi indicazioni per quanto riguarda il suo reale comportamento energetico.

I software di gestione non permettono la modellizzazione dinamica dell’edificio.

I software per la progettazione richiedono generalmente una grande quantità di dati e soprattutto competenze specialistiche di elevato livello.

Si è quindi deciso di sviluppare un nuovo modulo software che, pur assumendo alcune semplificazioni, fosse rigoroso nel calcolo, consentisse la realizzazione di un modello di simulazione del comportamento dell’edificio sulla base delle reali condizioni di utilizzo, rispettando tuttavia la semplicità d’uso da parte di utenti non specializzati

A&RT

Figura 1. Break-down structure del progetto.

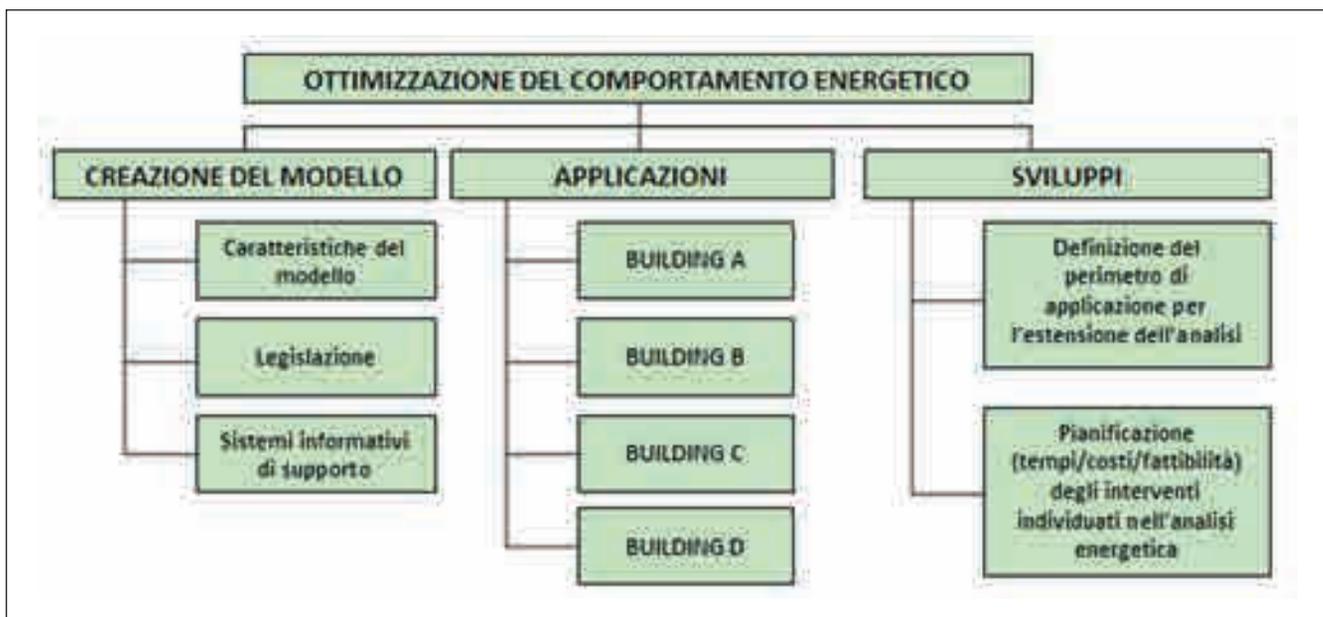


Figura 2. Lo schema concettuale del software.

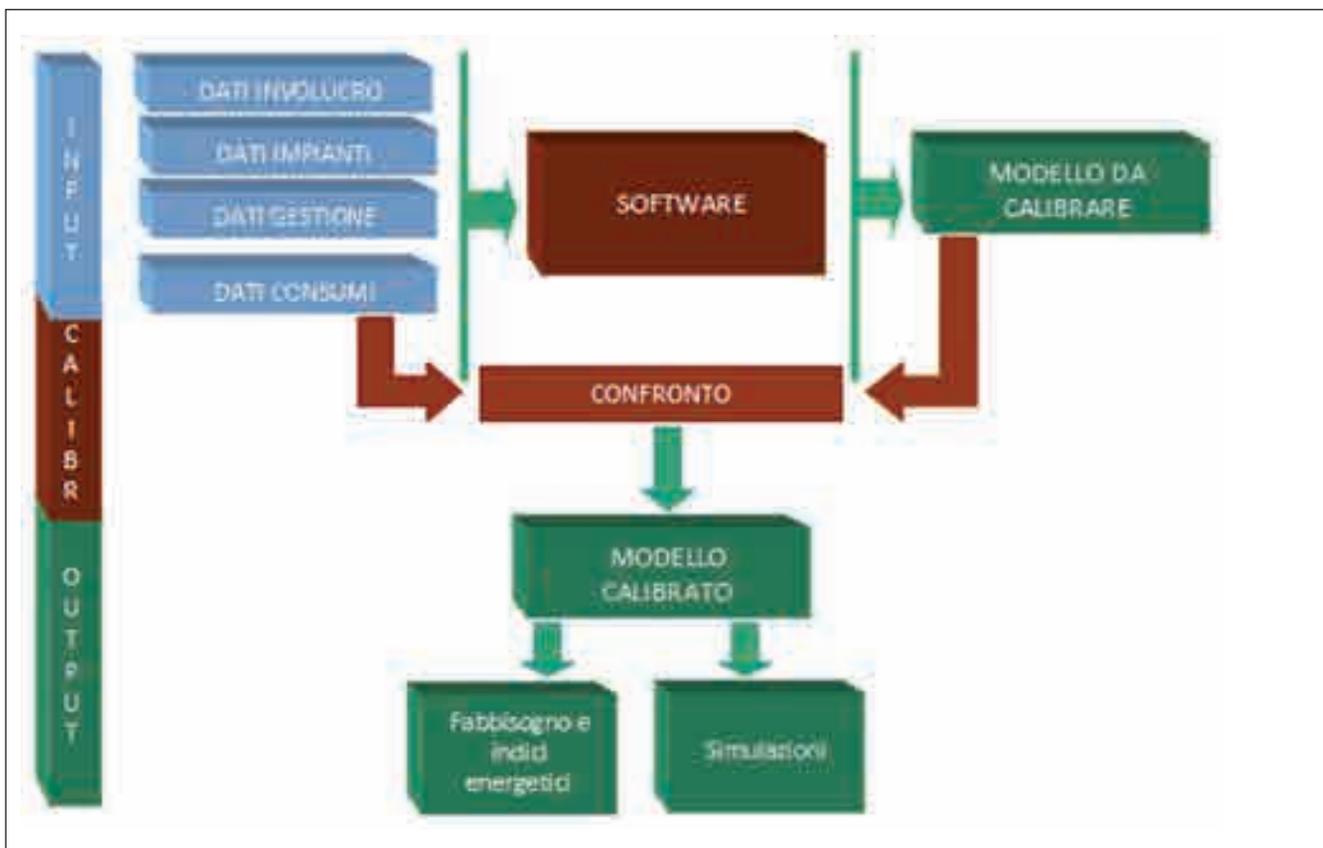


Figura 3. Valutazione risparmio energetico.



Figura 4. Classificazione degli interventi.

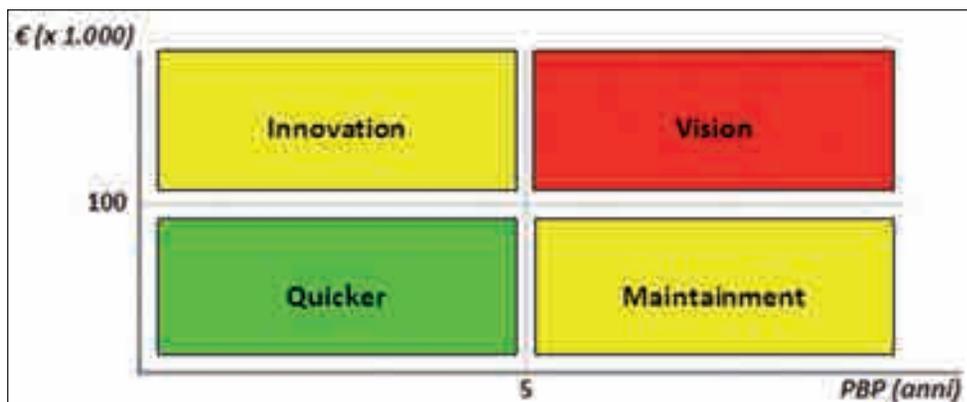


Figura 5. Riepilogo del flusso logico operativo.

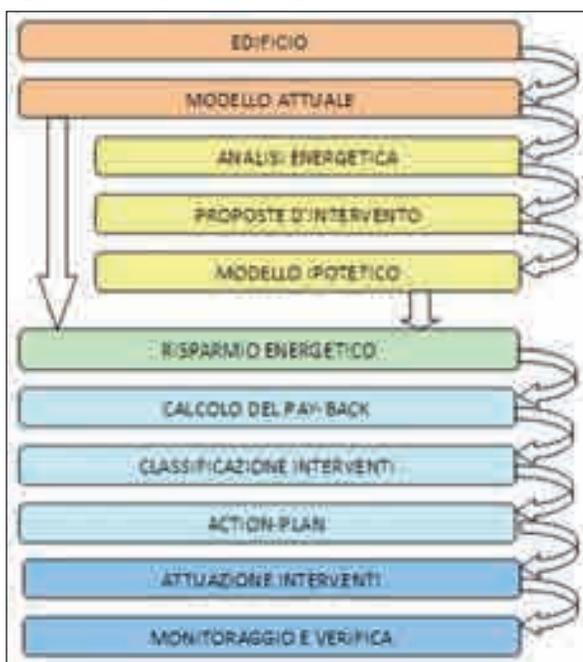


Figura 6. Grafico di ausilio alla calibrazione.

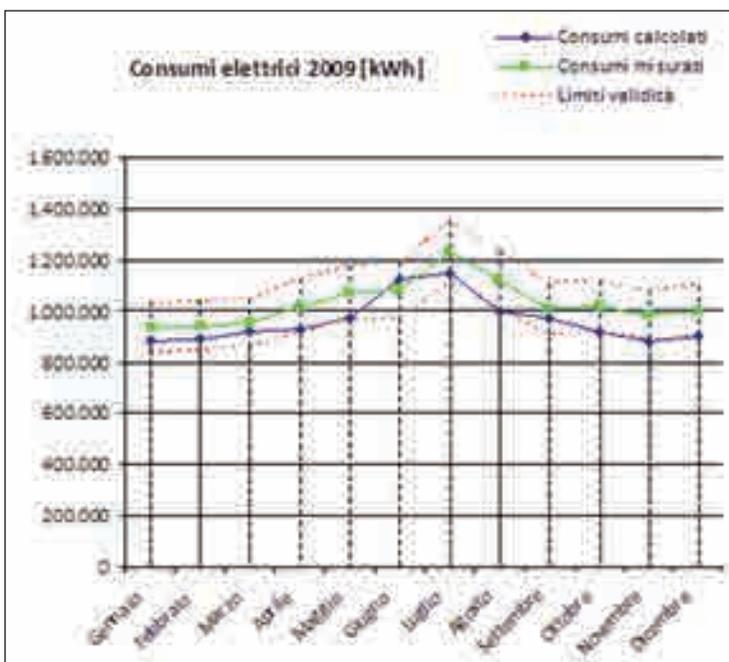
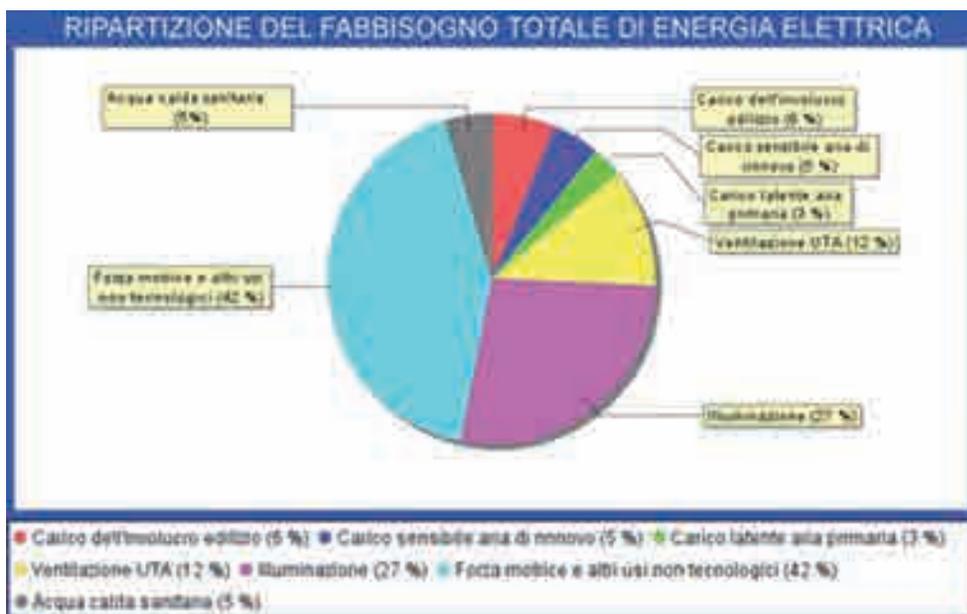


Figura 7. Esempio di grafico di output.



A&RT

come i Building Manager, richiedendo input semplici da raccogliere e limitati nel numero.

Lo schema concettuale sviluppato per il software da implementare è riportato in Figura 2.

Una volta realizzato il modello, occorre validarlo attraverso un confronto con i consumi realmente misurati. Dal modello calibrato è quindi possibile ottenere il fabbisogno energetico e ricavare degli indici energetici poi confrontabili con altri edifici.

Dopo aver definito caratteristiche e modalità di creazione del modello, si è proceduto nella standardizzazione delle modalità operative di valutazione di interventi di *saving* energetico che prevede nell'ordine i seguenti step:

- identificazione delle misure di efficientamento;
- simulazione;
- valutazione del risparmio;
- calcolo del ritorno dell'investimento;
- classificazione dell'intervento;
- redazione dell'action-plan;
- attuazione delle misure;
- monitoraggio e verifica.

Per facilitare i Building Manager nell'identificazione delle misure di efficientamento, si è ritenuto opportuno redigere un manuale di approfondimento tematico energetico e una check-list di potenziali interventi suddividendoli in tre categorie di crescente impegno economico: gestionali, impiantistici, sull'involucro.

Per quanto riguarda la simulazione questa si ottiene modificando i parametri del modello dello stato di fatto, ottenendo così nuovi valori di fabbisogno energetico. Da un confronto con i fabbisogni del modello originale dell'edificio si ottengono i risparmi conseguibili (Figura 3).

Per ogni misura di efficientamento simulata occorre poi valutarne la fattibilità economica.

Il ritorno dell'investimento è stato valutato con il metodo NPV (*Net Present Value*) in base ai seguenti parametri: costo dell'investimento, energia annua risparmiata, tariffe applicate all'energia, tasso di attualizzazione.

Il costo dell'investimento richiede un preventivo economico dell'intervento da parte di tecnici e fornitori, l'energia risparmiata si ottiene dalla simulazione, la tariffa dell'energia si ricava dalle fatture di somministrazione delle utilities.

Una volta ricavato il *pay-back period*, gli interventi devono essere classificati secondo lo schema di Figura 4 che tiene conto del costo dell'intervento e del tempo di ritorno dell'investimento.

Per ciascun intervento deve essere redatta una scheda standard che ne descriva le modalità tecniche di attuazione, i benefici economici e ambientali, i costi di realizzazione, e le modalità di calcolo adottate.

L'ultimo passo è l'elaborazione di un *action-plan* che consta di un quadro generale di tutti gli interventi applicabili

all'edificio.

Il riepilogo del flusso logico operativo è illustrato in Figura 5.

4. Il software

4.1. Le funzionalità

Il software sviluppato per la modellizzazione consente di sviluppare un modello di un edificio in modo rapido con un'interfaccia semplice, intuitiva e guidata.

Nonostante la semplicità d'uso, il calcolo dei fabbisogni energetici viene eseguito in modo rigoroso ed affidabile.

Le principali funzionalità offerte sono le seguenti:

- calcolo dei consumi energetici stimati energia termica, frigorifera, elettrica, a.c.s.;
- calcolo indici energetici reali e convenzionali;
- creazione e confronto di diversi scenari di ottimizzazione energetica con calcolo *pay-back period*.

4.2. Il metodo di calcolo

Il calcolo adottato si basa sulla norma UNI ISO 13790: 2008: *Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento*, dalla quale recepisce una parte adottando le seguenti semplificazioni:

- vengono trascurati i ponti termici;
- vengono trascurate le ombreggiature di eventuali aggetti orizzontali o verticali dell'edificio (ad es. balconi);
- viene trascurata l'emissività delle superfici opache.

Poiché la norma UNI ISO 13790: 2008 tiene conto della sola parte sensibile del calore, il software è stato integrato con una procedura di calcolo aggiuntiva che considera il calore latente associato ai processi di deumidificazione estiva e d'umidificazione invernale.

Quest'ultimo calcolo avviene tenendo in conto dei dati climatici orari relativi a temperatura e umidità relativa.

Il software permette di suddividere l'edificio in zone ciascuna caratterizzata dalle medesime condizioni di climatizzazione e dai medesimi impianti.

I calcoli vengono svolti seguendo un preciso ordine.

Per ciascuna zona:

- calcolo della trasmissione del calore per dispersione;
- calcolo della trasmissione del calore per ventilazione;
- calcolo dei carichi interni endogeni;
- calcolo degli apporti solari;
- calcolo di altri parametri dinamici;
- calcolo dei fabbisogni termico e frigorifero mensile ed annuale dell'edificio;
- calcolo degli indici prestazionali.

4.3. I dati di input

In fase di creazione del modello dell'edificio, al fine di simulare un comportamento che si avvicini a quello reale, è necessario alimentare il software con dati accurati. Qui di seguito

vengono descritti i principali input utilizzati nel calcolo.

A livello di edificio:

- caratteristiche strutturali dell'edificio (relativamente alla sua capacità termica)
- dati climatici (temperatura esterna media mensile, temperatura esterna oraria e umidità relativa oraria);
- radiazione solare media mensile secondo i vari orientamenti nord, sud, est, ovest;
- bollette energetiche.

A livello di zona:

- caratteristiche del sistema di ventilazione dell'edificio (naturale, forzata, tassi di ricambio ecc.);
- parametri riferiti agli impianti di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria (orari di funzionamento, potenze termiche ed elettriche installate, recuperatori di calore, temperature di *set-point* ecc.);
- apporti di calore interni (apparecchiature elettriche, tassi di occupazione, illuminazione);
- caratteristiche di trasmissione dell'involucro edilizio e (stratigrafie dei componenti e orientamento delle facciate).

I dati vengono ricavati per lo più dalla documentazione tecnica e in parte da opportuni sopralluoghi.

4.4. La calibrazione del modello

Per verificare la validità del modello, una volta caricati i dati di input, il software offre alcuni grafici di supporto che confrontano i consumi calcolati rispetto a quelli ottenuti dalle bollette energetiche (Figura 6).

Il grafico mostra un valore massimo ed uno minimo entro il quale si deve trovare il valore calcolato perché il modello possa essere ritenuto valido (valori mensili calcolati entro una certa percentuale del consumo misurato).

4.5. I dati di output

In output il software fornisce, a livello di edificio, tabelle e grafici relativi ai fabbisogni termici, frigoriferi, elettrici. I fabbisogni vengono inoltre scomposti nelle diverse tipologie che li compongono per fornire indicazioni su come l'energia viene utilizzata (Figura 7).

Per quanto riguarda i fabbisogni termici vengono ricavati in forma tabellare i seguenti valori energetici mensili e annuali:

- dispersioni per trasmissione ($Q_{H,tr}$): quantità di calore disperso attraverso i componenti opachi e trasparenti dell'involucro;
- dispersioni per ventilazione ($Q_{H,ve}$): quantità di calore disperso per la ventilazione naturale e/o meccanica degli ambienti;
- calore latente di umidificazione ($Q_{H,um}$): quantità di calore dispersa per l'umidificazione invernale;

- apporti interni e solari ($Q_{H,gn}$): ottenuti come somma dei carichi endogeni $Q_{H,int}$ e degli apporti solari $Q_{H,so}$;
- fabbisogno termico per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) dove:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve} + Q_{H,um} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \cdot a_{red,H}$$

essendo $\eta_{H,gn}$ il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti e $a_{red,H}$ il fattore di riduzione per intermittenza dell'impianto;

- fabbisogno termico legato al post-riscaldamento estivo ($Q_{C,v4}$): quantità di calore legato al post-trattamento termico dell'aria primaria a valle di una batteria fredda tipico della stagione estiva;
- fabbisogno termico per acqua calda sanitaria ($Q_{H,w}$): energia termica richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata calcolato come:

$$Q_{H,w} = \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_0) \cdot G$$

dove ρ è la massa volumica dell'acqua, c è il calore specifico dell'acqua, V_w il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo, θ_{er} è la temperatura di erogazione, θ_0 è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria, G è il numero di giorni del periodo di calcolo.

Per edifici direzionali è stato considerato un fabbisogno di 1 litro di acqua calda per persona al giorno con un salto termico tra acqua fredda e acqua calda di 30 °C. Considerando 20 giorni lavorativi al mese si ottiene un fabbisogno di circa 2,5 MJ/(mese x persona);

- fabbisogno termico netto ($Q_{H,netto}$) così calcolato:

$$Q_{H,netto} = Q_{H,nd} + Q_{C,v4} + Q_{H,acs}$$

- fabbisogno termico di energia primaria ($Q_{H,EP}$) calcolato come:

$$Q_{H,EP} = Q_{H,netto} / (\eta_g \cdot 41868)$$

dove η_g è il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento che si ottiene con la seguente equazione:

$$\eta_g = \eta_c \cdot \eta_r \cdot \eta_d \cdot \eta_p$$

quindi come prodotto dei rendimenti di emissione, di regolazione, di distribuzione e di produzione;

A&RT

- consumo di metano: qualora il combustibile utilizzato sia il gas metano, viene stimato il quantitativo di combustibile necessario a soddisfare il fabbisogno termico lordo complessivo espresso in smc;
- consumo di gasolio: se il combustibile utilizzato è il gasolio, la voce presente stima il quantitativo di combustibile necessario a soddisfare il fabbisogno termico lordo complessivo espresso in kg di gasolio;
- emissioni di CO₂: quantitativo di CO₂ emesso in atmosfera per il soddisfacimento termico complessivo dell'edificio.

Per quanto riguarda i fabbisogni energetici legati alla climatizzazione estiva vengono calcolati in forma tabellare i seguenti risultati mensili e annuali:

- dispersioni per trasmissione ($Q_{C,tr}$): quantità di calore disperso attraverso i componenti opachi e trasparenti dell'involucro;
- dispersioni per ventilazione ($Q_{C,ve}$): quantità di calore disperso per la ventilazione naturale e/o meccanica degli ambienti;
- fabbisogno frigorifero per raffreddamento e deumidificazione ($Q_{C,ve}$): calcolato come

$$Q_{C,ve} = Q_{C,v1} + Q_{C,v2}$$

dove $Q_{C,v1}$ rappresenta il calore sensibile di raffreddamento e $Q_{C,v2}$ il calore latente legato alla deumidificazione;

- apporto dell'aria primaria ($Q_{C,v3}$): indica il contributo energetico legato all'aria primaria dovuto alla differenza tra la temperatura di mandata e l'ambiente interno;
- apporti termici gratuiti ($Q_{C,gn}$): ottenuto come somma dei carichi endogeni $Q_{C,int}$ e degli apporti solari $Q_{C,so}$;
- fabbisogno frigorifero per raffrescamento ($Q_{C,nd}$): così calcolato

$$Q_{C,nd} = [((Q_{C,gn} - \eta_{C,gn} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve} + Q_{C,v1})) + Q_{C,v2} - Q_{C,v3}) \cdot a_{red,C}]$$

essendo $\eta_{C,gn}$ il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti e $a_{red,C}$ il fattore di riduzione per intermittenza dell'impianto;

- fabbisogno elettrico per raffrescamento ($Q_{C,El}$) così calcolato:

$$Q_{El,nd} = Q_{C,nd} \cdot 1,15/EER$$

essendo EER (Energy Efficiency Ratio) l'efficienza media stagionale dei refrigeratori e 1,15 un fattore maggiorativo che tiene conto dei consumi

delle apparecchiature ausiliarie;

- fabbisogno elettrico di energia primaria;
- emissioni di CO₂: quantitativo di anidride carbonica emessa in atmosfera per soddisfare il fabbisogno frigorifero complessivo dell'edificio.

Oltre ai dati sopra elencati vengono ricavati anche diversi indici reali e convenzionali.

Nel dettaglio sono previsti i seguenti indici convenzionali ricavati rispetto a condizioni standard e con regime di funzionamento continuo:

- fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento invernale (FEP);
- fabbisogno di energia termica per il riscaldamento invernale espresso in kWh/(m²a).

Per quanto riguarda gli indici reali, cioè quelli basati su condizioni reali di utilizzo dell'edificio e degli impianti (regime di funzionamento reale intermittente), vengono calcolati:

- fabbisogno termico per riscaldamento, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno termico per produzione di acqua calda sanitaria, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno termico per ventilazione invernale, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno di energia primaria totale, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno frigorifero per climatizzazione estiva, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno frigorifero per la ventilazione estiva, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno elettrico per la climatizzazione estiva, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno elettrico per illuminazione, espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno elettrico per forza motrice e altri usi, escluse la climatizzazione e la ventilazione meccanica ed espresso in kWh/(m²a);
- fabbisogno elettrico totale, espresso in kWh/(m²a);

Infine per quanto riguarda il fabbisogno elettrico il software fornisce i valori dei consumi mensili e annuali, espressi in kWh, per i vari usi:

- forza motrice;
- illuminazione interna;
- illuminazione esterna;
- ventilazione meccanica;
- produzione di acqua calda sanitaria;
- raffrescamento.

4.6. Simulazione di interventi di efficientamento

A supporto della diagnosi energetica il modulo software

offre alcune funzionalità che consentono di simulare e valutare gli interventi individuati. È infatti possibile creare copie del modello dello stato di fatto, modificarne i parametri per simulare gli interventi e successivamente utilizzare un'utility che confronta i consumi ricavati attraverso le simulazioni con quelli dello stato di fatto ottenendo quindi una valutazione dei benefici in termini di consumo ed un rapido calcolo del *pay-back period*.

Le simulazioni possono prevedere una singola misura di efficientamento oppure un pacchetto di interventi.

4.7. Applicazione a casi reali

Per verificare il modulo software è stata svolta l'analisi e la modellizzazione di quattro palazzi uffici.

I modelli sono stati realizzati riconducendo gli edifici ad una, due o tre zone.

Sono state effettuate diverse simulazioni alcune delle quali relative ai seguenti interventi:

- innalzamento del *set-point* estivo;
- innalzamento del *set-point* dei refrigeratori;
- uso razionale dell'energia da parte degli utenti;
- eliminazione dell'umidificazione invernale;
- riattivazione o inserimento di recuperatori di calore;
- modifica da portata costante a variabile dei circuiti idronici;
- sensori di presenza per l'illuminazione;
- installazione di pannelli fotovoltaico;
- installazione di collettori solari termici;
- sostituzione gruppi refrigeratori;
- posa di pellicola basso-emissiva.

L'importo totale degli investimenti attuabili sugli edifici analizzati, escludendo la pellicola basso-emissiva il cui ritorno dell'investimento è oltremodo lungo, ammonta a circa € 3.000.000 con un *pay-back period* semplice di circa 4,5 anni.

Per i palazzi analizzati è stato elaborato un *action plan* con un piano di investimenti che garantisca un *cash-flow* cumulativo sempre positivo.

4.8. Esempi di misure attuate

Alcuni dei principali interventi di risparmio energetico effettuati fino ad oggi sono i seguenti:

- *sensori di presenza*: sono stati installati dei sensori di presenza in alcune zone ad occupazione non permanente;
- *lampade ad alta efficienza*: l'applicazione ha coinvolto aree esterne dei siti direzionali di San Donato Milanese e ha garantito un risparmio energetico intorno al 40% rispetto ai consumi pre-intervento;
- *installazione di inverter*: sono stati installati inverter sulle torri evaporative conseguendo un risparmio di circa il 30%;
- *ottimizzazione filtri UTA*: sono stati sostituiti i filtri UTA con filtri a bassa perdita di carico. L'installazione dei filtri

è stata preceduta da un periodo di test durante il quale sono stati confrontati i consumi di due UTA simili equipaggiate con filtri differenti. È stato quantificato un risparmio inferiore al 10% ma caratterizzato da un ritorno economico entro l'anno;

- *aumento del set point di raffrescamento e ottimizzazione degli orari di funzionamento*: l'intervento, puramente gestionale, ha portato ad un risparmio conseguito attorno al 9%. Vista la semplicità di attuazione, la nuova modalità di conduzione è stata estesa e fatta divenire uno standard eni con la campagna "eni si toglie la cravatta".
- *impianti fotovoltaici*: è stato realizzato un impianto sulla copertura di un fabbricato direzionale a Roma. Essendo un intervento di grande impatto economico eni ha redatto al suo interno uno studio preliminare nel quale si sono ipotizzati diversi scenari di intervento caratterizzati da potenze nominali diverse. L'impianto realizzato è caratterizzato da una potenza di picco di 73 kW;
- *regolazione dell'acqua di raffreddamento per il condizionamento*: il consumo di acqua industriale utilizzata per il raffreddamento dei gruppi frigoriferi è stato ottimizzato inserendo opportune valvole di regolazione.

5. Risultati conseguiti

Le azioni intraprese nel 2009 hanno condotto ad un risparmio economico pari a 395 k€/anno con una riduzione di emissioni di CO₂ pari a circa 631 ton/anno così ottenuto:

- 58,8 k€/anno grazie ad azioni gestionali;
- 336,2 k€/anno grazie a interventi di ottimizzazione e miglioramento dell'efficienza impiantistica.

Nell'importo investito nel 2009 sono compresi gli interventi di risparmio idrico.

È in fase di consuntivazione il piano d'intervento individuato nel 2010.

I risultati conseguiti si sono dimostrati in linea con le previsioni ricavate dalle simulazioni, confermando la validità del modello concettuale adottato.

Gli ulteriori interventi individuati ed attualmente pianificati permetteranno di consolidare maggiormente i risultati garantendo ulteriori ritorni economici e ambientali.

6. Progetti ed azioni integrative

6.1. Linee guida per i Building Manager

Con lo scopo di sensibilizzare, diffondere la cultura della sostenibilità ed un *modus operandi* codificato, il progetto ha previsto la redazione di un documento denominato "Linee guida dell'energy saving" che ha lo scopo di guidare i building manager nel processo di efficientamento energetico con un approccio standardizzato. Il Building Manager attraverso il documento riceve indicazioni sulle

A&RT

buone pratiche di gestione, sulle misure di efficientamento esistenti e seguendo le istruzioni presenti sul documento, è guidato nell'identificazione di potenziali interventi e nell'uso dello strumento software messo a disposizione.

6.2. Building Management System

A corollario del progetto è stato implementato di un sistema di remotizzazione della gestione tecnologica degli edifici (B.M.S.). Il progetto, oggi applicato a tre palazzi uffici dei centri direzionali di San Donato Milanese e Roma, ha questi obiettivi:

- monitoraggio dei consumi;
- individuazione di eventuali anomalie di consumo con conseguente intervento immediato nell'individuazione ed eliminazione delle cause;
- registrazione dei parametri ambientali per analizzare lo stato di comfort degli ambienti e l'efficienza degli impianti;

- controllo diretto dei sistemi di gestione locali con possibilità di avere riscontro immediato dei consumi energetici e dei parametri ambientali a seguito delle regolazioni.

Conclusioni

Lo sviluppo del progetto "*eni building energy saving*" aveva come obiettivo la definizione di un approccio metodologico e standardizzato di efficientamento energetico dei palazzi uffici eni.

A tale scopo è stato sviluppato un modello concettuale che è stato verificato attraverso l'applicazione a quattro edifici campione.

Il test ha dimostrato la validità del modello adottato ed ora è in corso l'estensione del perimetro del progetto ai restanti edifici.

La sua estensione consoliderà i risultati e dovrà portare ad una riduzione di CO₂ in linea con la politica eni.

ICT per l'energia: il progetto WiFi4Energy del Politecnico di Torino

Information and Communication Technologies applied to energy management: the WiFi4Energy project at Politecnico di Torino

PIERO BOZZA

Le tecnologie e le soluzioni oggi disponibili per la riduzione dei consumi energetici negli edifici di medie e grandi dimensioni sono ormai numerose e consolidate. Spaziano dagli interventi di riqualificazione dell'involucro alla revisione parziale o totale degli impianti. Si tratta di interventi invasivi che permettono significativi risparmi ma richiedono investimenti elevati con tempi di ritorno spesso di parecchi anni.

Un approccio "soft" e complementare che può dare benefici significativi con ridotti costi di investimento e tempi di ritorno ridotti, consiste nell'adozione di tecnologie ICT non invasive in grado di supportare il monitoraggio costante dei consumi e rendere disponibili in modo tempestivo informazioni utili ad ottimizzare la gestione degli impianti per l'energy manager o per responsabilizzare e sensibilizzare le persone che operano nei locali. Un portale web (Living LAB) che integra i vari sistemi di monitoraggio costituisce infine un valido strumento informativo per sensibilizzare e responsabilizzare le persone verso comportamenti sostenibili e virtuosi per il risparmio energetico. Questi ed altri aspetti ha affrontato il Progetto WiFi4Energy del Politecnico di Torino.

Piero Bozza, ingegnere, Coordinatore delle Operazioni IT dell'Area Information Technology del Politecnico di Torino.
piero.bozza@polito.it

Solutions and technologies available to reduce energy consumption in new and existing buildings of medium and large dimensions are consolidated and there is a wide experience in the field. They range from heavy requalification in buildings structures to systems and equipments revision or reengineering (i.e. electrical systems, climate control systems) and must be carried out in specific and complex projects. This kind of projects involve important investments related to achievable savings, and have a payback period of several years. The projects need invasive actions in the buildings, plants and systems.

A different "soft" approach to reduce energy consumption with little investments and short payback periods can be defined using ICT technologies applied to monitor consumptions, control the waste of resources, increase the awareness of users and people living or working in the buildings by means of informations and guidelines. From the Energy Manager to the employee, people can actively participate to the process of energy saving if correct information is given through a dedicated web site and a demonstrative lab (Living LAB). Correct and pertinent information can flow from building systems and equipments to final users by means of an integrated monitoring system. Those are some of the aspects investigated and managed by the WiFi4Energy project carried out by the Politecnico di Torino.

1. Il contesto

Il Politecnico di Torino è una realtà universitaria pubblica coinvolta a livello nazionale ed internazionale in numerosi progetti di ricerca nell'ambito del risparmio energetico, della eco-compatibilità delle soluzioni tecnologiche, della sostenibilità dei processi di progettazione e realizzazione nei vari campi dell'ingegneria e dell'architettura.

A&RT

Figura 1. Architettura di integrazione delle reti WSN con la rete dati LAN Polito.

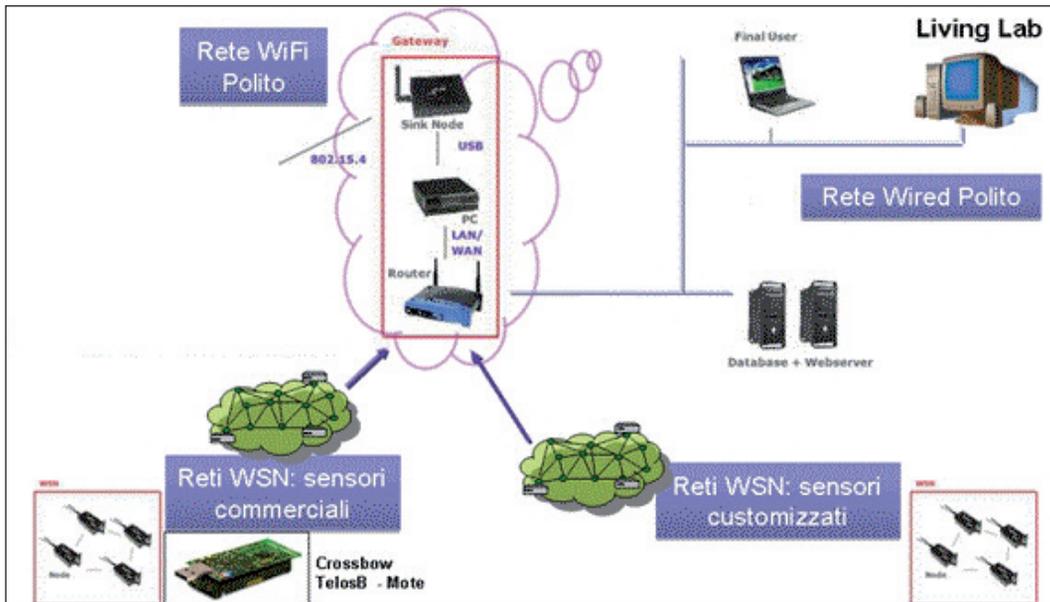


Figura 2. Sistema Integrato di Monitoraggio (SIM): schema logico e componenti.

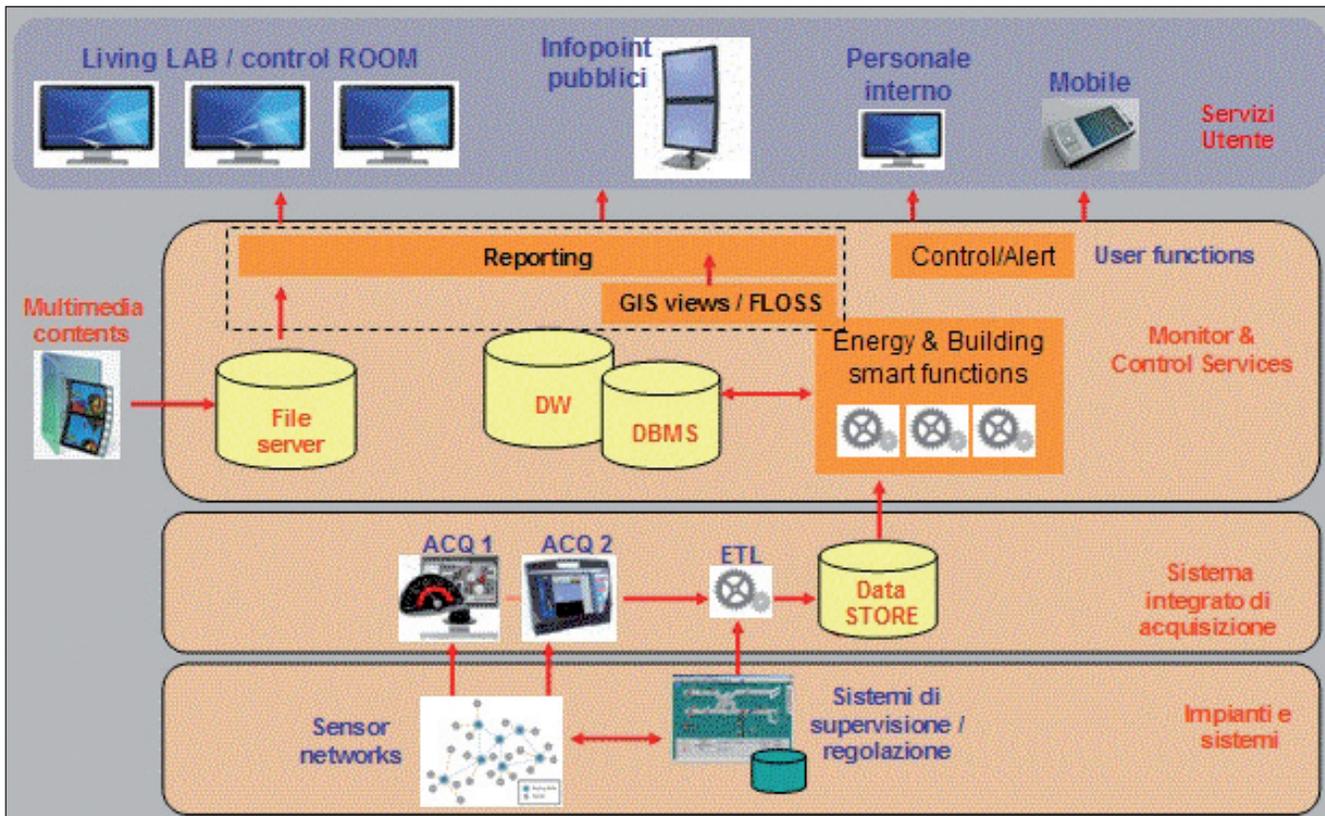


Figura 3. Il Living LAB del Politecnico di Torino.

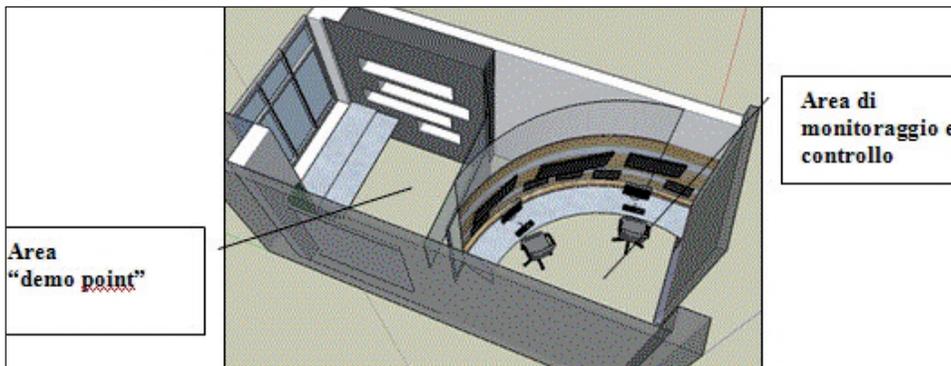


Figura 4. Cruscotto di monitoraggio dell'energia elettrica: profilo personale.

Energia			
Energia elettrica: grafici disponibili relativi ai consumi elettrici			
	Anno	Mese solare	Giorno singolo
Andamento (Ateneo)			
Andamento (mio CDS)			
Totale per sede			
Andamento per fasce diurna-notturna (mio CDS)			
Totale ateneo per sede geografica			
Confronto assorbimenti e consumi			

Figura 5. Andamento consumi elettrici di un dipartimento per fasce nei primi giorni del mese.

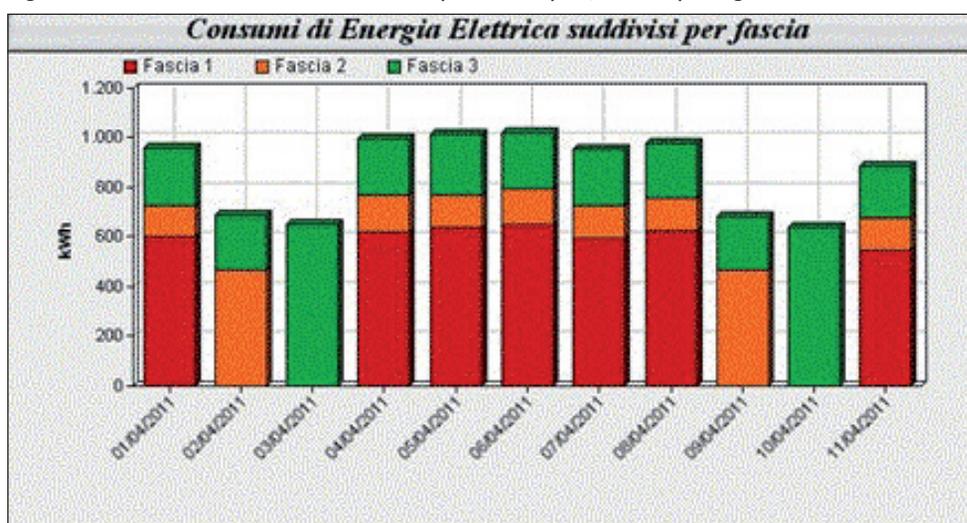
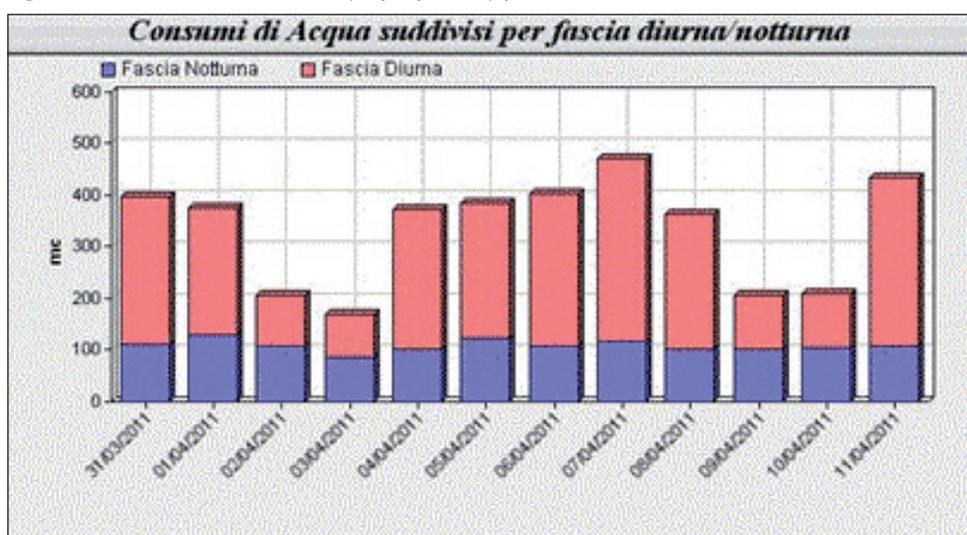


Figura 6. Andamento consumi idrici (acqua potabile) per fasce.



A&RT

Nell'ambito specifico del risparmio energetico applicato ai sistemi edificio-impianto l'Ateneo torinese si presenta come un'organizzazione complessa costituita da edifici realizzati in periodi molto diversi che vanno dal Castello del Valentino di epoca seicentesca, già residenza dei reali di casa Savoia, alla recentissima sede di Mirafiori (in classe A+) dotata delle più moderne soluzioni applicate all'involucro, agli impianti ed alla supervisione intelligente. Si tratta di edifici con problematiche e situazioni impiantistiche spesso eterogenee accomunati dalla presenza di un numero significativo di "occupanti" che vanno dagli studenti ai ricercatori, al personale tecnico ed amministrativo distribuiti in unità organizzative e centri di responsabilità ben definiti. Ulteriore elemento caratteristico degli edifici dell'Ateneo è costituito dalla presenza capillare della rete dati wireless a disposizione degli studenti e del personale.

Caratteristiche molto simili a quelle del Politecnico possono essere ritrovate in molte delle realtà pubbliche presenti sul territorio (scuole, università, enti, ospedali).

Un problema comune a queste realtà è la consapevolezza della necessità di dover intervenire sui propri edifici ed impianti per razionalizzarne la gestione e per aumentare l'efficienza energetica ma di essere altrettanto consapevoli della limitatezza delle risorse per gli investimenti che non permette di attivare azioni concrete di riqualificazione significative.

In queste situazioni le tecnologie ICT, applicate al monitoraggio integrato degli impianti e degli edifici, possono diventare una valida ed economica risorsa a livello diagnostico per individuare le criticità, supportare la selezione degli interventi più redditizi e a minor costo di investimento. Si parla infatti di ICT per l'efficienza energetica - ICT4EE.

L'integrazione dei sistemi di monitoraggio integrato con strumenti di comunicazione efficaci quali portali web, messaggistica SMS/mail indirizzati agli occupanti, permette di portare all'utente finale, così come ai responsabili di unità organizzative o all'Energy Manager le informazioni rilevanti utili per indurre comportamenti in grado di ridurre e razionalizzare i consumi energetici (*user awareness*).

A differenza delle soluzioni tecnologiche di controllo invasive che richiedono la modifica degli impianti, l'approccio basato sulla fornitura di informazioni agli utenti in grado di coinvolgerli ed "attivarli" verso azioni di risparmio energetico, considera la persona come l'attuatore del controllo: si tratta di fornirgli le giuste informazioni in modo che agisca nel modo corretto e di incentivare il suo comportamento nella giusta direzione. In queste situazioni si può parlare a tutti gli effetti di sistema edificio-impianto-utente.

Poter infine acquisire i dati di monitoraggio dei consumi e sul funzionamento degli impianti tramite una rete wire-

less spesso già presente negli edifici, costituisce l'anello mancante per disporre di una soluzione "soft" in grado di garantire supervisione e controllo a basso impatto e limitato investimento.

Questi sono i principali presupposti sulla base dei quali è stato realizzato nel periodo 08/2008 - 06/2010 il progetto di ricerca applicata WiFi4Energy.

2. Il progetto WiFi4Energy

I principali obiettivi del progetto WiFi4Energy possono essere riassunti in:

- sperimentazione dell'utilizzo delle reti Wireless Sensor Network (WSN) integrandole con la rete WiFi presente nel Politecnico;
- realizzazione di una infrastruttura integrata di monitoraggio e di supporto al controllo ambientale finalizzata al risparmio energetico negli edifici;
- sviluppo di strumenti per la sensibilizzazione e responsabilizzazione del personale/utenza degli edifici;
- realizzazione di un laboratorio dimostrativo (Living LAB) dei benefici del monitoraggio di ambienti, sistemi ed impianti a supporto dell'uso sostenibile delle risorse energetiche;
- realizzazione del portale WEB dedicato per il monitoraggio e per la diffusione delle informazioni alle diverse tipologie di utenze;
- introduzione di strategie, logiche e strumenti di contabilizzazione analitica dei consumi per centri di costo ("bolletta virtuale").

Tra le specifiche di progetto va evidenziata la volontà di sviluppare soluzioni in logica non proprietaria ed i cui risultati potessero essere "riusati" da altri enti e soggetti pubblici sul territorio.

Nel progetto sono stati coinvolti ricercatori dei Dipartimenti di Energetica, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Elettrica, Ingegneria Automatica e Informatica. Il team è stato integrato con specialisti nella gestione degli impianti del Servizio Edilizia e Logistica e nella gestione dei Sistemi Informativi del Centro di Servizi Informatici e Telematici.

Il progetto è stato realizzato con il cofinanziamento della Regione Piemonte.

3. Il Politecnico in numeri

Per comprendere il contesto in cui il progetto è stato realizzato è utile riportare alcuni dati caratteristici sulle dimensioni del Politecnico di Torino:

- bilancio di previsione 2010: 380 M€;
- 29.000 studenti, oltre 700 dottorandi, 1.600 dipendenti, 800 assegnisti e collaboratori;
- 18 dipartimenti, 5 facoltà, 1 scuola di dottorato, 7 centri di servizio;
- 7 sedi di cui 3 principali per un totale di oltre 330.000

- m² di superficie occupata;
- consumi energetici (2010): circa 17M kWh elettrici; 16.5M kWh termici; 300.000 m³ di gas naturale; 175.000 m³ di acqua potabile;
- distribuzione costi energetici per fonte (2010): elettrico (59%); termico (29%); acqua (6%); gas (6%);
- distribuzione costi energetici per sede (2010): Centrale C.so Duca - Cittadella (78%); Castello Valentino (8%); Vercelli (4%); Alessandria (3%); Lingotto (3%); altre sedi (4%);
- auto-produzione energetica: 40.000 kWh elettrici fotovoltaica (PV) /anno.

4. La sperimentazione delle reti WSN

Uno degli obiettivi centrali del progetto è consistito nella sperimentazione di sensori, installabili in modo non invasivo, basati su protocolli di comunicazione non proprietari. I sensori dovevano essere idonei ad acquisire i dati provenienti dagli impianti e ambienti e renderli disponibili, attraverso la rete dati wireless e LAN del Politecnico, presso una control room in grado di centralizzare la raccolta e la storizzazione di tutte le misurazioni effettuate sul campo.

La sperimentazione è stata finalizzata al monitoraggio ambientale e del confort (temperatura operativa interna [T], umidità relativa [RH] e illuminamento [LUX]) di locali in edifici di medio-grandi dimensioni. Si è pertanto focalizzata sull'utilizzo di sensori e reti di sensori WSN (Wireless Sensor Network) in grado di essere configurati secondo una logica gerarchica *multi-tree* nella quale sono presenti molti nodi multi-sensore connessi ad elementi di acquisizione dati intermedi costituiti da unità intelligenti dette *base station*. Le base station acquisiscono i dati di monitoraggio dai nodi della propria sottorete e li trasmettono verso la rete LAN con periodicità programmabile in funzione delle esigenze.

Le campagne di misura hanno permesso di rilevare i dati di monitoraggio di 5 zone con un impiego di un massimo di 58 sensori.

L'adozione di sensori wireless introduce una semplificazione drastica in termini di allestimenti impiantistici ma presenta problematiche non marginali di affidabilità, stabilità della misura e continuità di funzionamento. In particolare la sperimentazione con nodi innovativi della famiglia Telos (TelosB Mote) sviluppati dall'Università di Berkeley in collaborazione con Intel Research e funzionanti su protocollo IEEE 802.15.4 ha evidenziato seri limiti di autonomia operativa con tempi di vita delle batterie variabili da 5 a 200 giorni). In particolare la sperimentazione ha messo in luce la difficoltà di garantire un'autonomia adeguata della rete in condizioni di comunicazione *near real time* dei dati dal sensore alla base station. Problematiche simili sono emerse anche con l'utilizzo di sensori custom.

La sperimentazione è stata condotta su diverse aree dell'ateneo presso la sede centrale di corso Duca degli Abruzzi di Torino, caratterizzate da una specifica destinazione d'uso (aule, uffici, laboratori, locali comuni) e da diverse esposizioni (nord, sud, facciate vetrate o opache ecc.).

È stata condotta una specifica azione di monitoraggio tramite rete WSN sull'unità di trattamento aria evoluta (UTA) di una grande aula (Aula 1) al fine di ottimizzarne i consumi e di individuare un modello operativo in grado di rilevare con buona approssimazione il livello di occupazione dell'aula.

Si riporta di seguito in Figura 1 lo schema dell'architettura realizzata per l'integrazione delle reti di sensori WSN con la rete dati LAN Polito.

5. Il sistema integrato di monitoraggio (SIM)

Uno degli aspetti più rilevanti che ostacola la possibilità di mettere a disposizione degli utenti che lavorano e operano negli edifici le informazioni salienti sui consumi energetici, è dovuto alla difficoltà di interfacciare i sistemi di supervisione proprietari connessi agli impianti con applicazioni ad alto livello che vengono rese disponibili agli utenti finali (ad es. un portale WEB). Le organizzazioni reali inoltre, molto spesso dispongono di più impianti eterogenei, sviluppati in tempi diversi e con tecnologie diverse, da fornitori diversi, che rendono ulteriormente complessa e onerosa un'azione di integrazione. Il progetto ha pertanto affrontato questa complessa problematica sviluppando un sistema integrato di monitoraggio basato su un'architettura modulare multilivello nella quale i singoli componenti possono integrarsi con realtà impiantistiche eterogenee o con diverso livello di maturazione. Si riporta in Figura 2 lo schema logico del SIM.

Secondo l'architettura definita i principali componenti del sistema SIM sono:

- l'impianto tecnologico esistente (ad es. elettrico, illuminazione) spesso già dotato di contatori o di sensori per l'acquisizione dei consumi o di altri dati ambientali in specifiche zone/aree/fabbricati;
- il sistema di supervisione che effettua il monitoraggio e la regolazione sull'impianto. Questo componente è sempre più presente negli impianti in quanto costituisce l'intelligenza "locale" del sistema e permette la gestione, supervisione e ottimizzazione dei consumi specifici. Normalmente viene installato dal fornitore insieme all'impianto e ne costituisce parte integrante. Il Politecnico sta attuando una politica di progressiva migrazione di queste unità di controllo su un'infrastruttura di server virtuali;
- il sistema integrato di acquisizione che ha il compito di interfacciare i diversi impianti con il database DBMS centrale attraverso "connettori". In funzione delle

A&RT

- caratteristiche del singolo sistema di supervisione il connettore permette di definire quali dati acquisire, le modalità di acquisizione, la frequenza di acquisizione, i range di validità delle misure e molti altri parametri specifici del flusso di comunicazione con l'impianto. In situazioni particolari di assenza del sistema di supervisione il connettore può essere realizzato anche con interfacciamento diretto con la rete di sensori. Nell'ambito del progetto WiFi4Energy sono stati realizzati i connettori per gli impianti elettrici, idrici, climatizzazione aule, monitoraggio consumi dei PC utente, centralina meteo. Tramite la realizzazione di connettori è stato inoltre possibile far confluire nel sistema anche alcuni flussi di dati preesistenti provenienti da impianti autonomi e isolati, permettendo il recupero di un patrimonio informativo altrimenti non utilizzabile;
- il sistema ETL (*extract transform and load*) introduce il primo livello di intelligenza nel sistema in quanto ha il compito di acquisire il dato grezzo proveniente dall'impianto e di attuare una prima strategia di consolidamento del dato nel *datastore* che va dalla semplice memorizzazione di ogni dato così come viene acquisito fino a sofisticate operazioni di accorpamento di più dati in un valor medio, di eliminazione di dati fuori range o di interpolazione di dati per ricostruire dati mancanti;
 - più flussi informativi provenienti da diversi impianti confluiscono nel *datastore* centralizzato in modo da poter disporre in un unico database logico di tutte le informazioni;
 - il componente *Energy & building smart functions* costituisce il motore logico di più alto livello nel quale vengono effettuate le operazioni di analisi dei dati, di correlazione, di confronto tra sistemi e impianti, di elaborazione per la successiva presentazione di informazioni aggregate per gli utenti finali. Di particolare importanza l'unità di pre-elaborazione grafica del motore che ha il compito di costruire le informazioni necessarie al reporting grafico sui consumi. I risultati delle elaborazioni sono memorizzati nel DBMS che deve garantire il consolidamento dei dati anche per lunghi periodi (anni) utili ad analisi storiche e confronti periodo-periodo;
 - il motore può essere corredato di un modulo aggiuntivo *Control/Alert* che ha il compito di generare eventi di notifica, allarme o controllo sulla base di condizioni e regole predefinite. Al verificarsi di un evento di notifica o allarme viene inviata segnalazione all'utente finale mentre in caso di eventi di controllo viene inviato un comando ad un altro sistema/impianto costituendo a tutti gli effetti un sistema aggiuntivo ed integrato di regolazione/supervisione;
 - il motore deve inoltre poter integrare contenuti informativi multimediali di tipo eterogeneo (ad es. filmati,

presentazioni) per cui è stato previsto un modulo in grado di acquisire questi dati per la successiva presentazione e comunicazione agli utenti attraverso i canali ritenuti più opportuni (web, smartphone, tablet, SMS, mail);

- grazie a questa architettura diventa possibile attivare servizi, strumenti e canali di informazione e comunicazione con gli utenti mirati agli specifici scopi che ci si prefigge di volta in volta. Fanno parte di questa strumentazione dedicata all'energia i portali web, gli infopoint, i chioschi e bacheche elettroniche, le applicazioni specifiche per smartphone e tablet. Nell'ambito del progetto WiFi4Energy è stato sviluppato ampiamente il canale Web ritenuto il sistema di comunicazione più completo per un uso non solo informativo ma anche interattivo, elemento quest'ultimo basilare per il coinvolgimento attivo degli utilizzatori/consumatori.

L'insieme dei componenti software descritti, ed in particolare quelli appartenenti ai tre livelli "sistema integrato di acquisizione", "Monitor & control services" e "servizi utente" costituisce un'applicazione complessa ma modulare che rappresenta il *Sistema Informativo Utente* (SIU).

Se si dispone di una infrastruttura di impianti valida e consolidata, l'adozione del SIM-SIU può rappresentare un valore aggiunto notevole in grado di abilitare l'organizzazione ad una diagnosi precoce delle proprie inefficienze energetiche ed alla realizzazione di strategie di *energy saving* efficaci. In presenza di impianti e sistemi di supervisione eterogenei il SIM-SIU può permettere di superare le tipiche difficoltà dovute a "sistemi che non si parlano".

6. Il modello logico dei dati

Il database DBMS costituisce il cuore del sistema informativo di monitoraggio e controllo. È stato progettato sulla base di un modello logico di dati in grado di rappresentare realtà dell'edificio/impianto molto eterogenee e di diversa dimensione. È pertanto in grado di acquisire dati provenienti da più siti/sedi/edifici, da più reti di sensori, da più zone. Può gestire qualsiasi tipo di sensore (caratterizzandolo) e qualsiasi grandezza da monitorare (temperatura, umidità relativa, illuminamento, potenza termica, frigorifera ed elettrica, portata, pressione, stato di presenza/assenza ecc.). La localizzazione dei sensori può essere integrata con sistemi di *facility management* o di georeferenziazione.

È stato inoltre implementato uno schema logico dei dati in grado di modellizzare i sensori come nodi di reti correlabili nello spazio e nel tempo adottando il framework SeReNe (*Selective Representative in Sensor Networks*). SeReNe ha lo scopo di ridurre i consumi dei nodi presenti in reti di sensori attraverso l'ottimizzazione delle comunicazioni in fase di trasmissione e ricezione dei dati.

7. Il Living LAB

Il processo che porta alla sensibilizzazione ed alla responsabilizzazione degli utenti di una organizzazione verso comportamenti energeticamente virtuosi ed in grado di contenere i consumi, passa attraverso la comunicazione mirata e la diffusione delle informazioni in modo da far crescere progressivamente la cultura della sostenibilità nelle persone.

In particolare è importante fornire agli utenti, nelle loro diverse funzioni e ruoli all'interno dell'organizzazione, informazioni sui consumi dell'Ateneo e sui consumi che generano individualmente, nei gruppi di ricerca, nelle unità organizzative o centri di costo/responsabilità (ad esempio i dipartimenti). Occorre inoltre fornire agli utenti linee guida ed indicazioni operative sugli ambiti e sulle modalità per contenere i consumi. Occorre infine far comprendere agli utenti che il monitoraggio continuo dei consumi e la loro riferibilità alle diverse tipologie di utilizzi e utilizzatori può diventare un efficace strumento per la ripartizione e contabilizzazione dei consumi su base analitica (la cosiddetta "bolletta virtuale").

Tra gli strumenti ritenuti importanti per raggiungere questi scopi di coinvolgimento ed educazione alla sostenibilità energetica vi è quindi il *laboratorio dimostratore* che il progetto WiFi4Energy ha realizzato e denominato Living LAB.

Si tratta di uno spazio di laboratorio dedicato a "dimostrare" a gruppi di utenti interni ma anche a soggetti esterni pubblici e privati, le potenzialità degli strumenti di monitoraggio integrato e di controllo ed i benefici realizzati dal Politecnico. Presso il Living LAB vengono anche centralizzate tutte le funzioni di supervisione degli impianti e sistemi così come la strumentazione per l'analisi energetica e per la produzione di reporting, cruscotti ed ogni altro supporto utile per perseguire le azioni finalizzate al risparmio e all'ottimizzazione delle risorse. L'insieme delle funzioni via via associate al Living LAB sta facendo diventare questa risorsa la control room di riferimento per l'energy

management, per il monitoraggio di tutto l'ateneo e la gestione intelligente dei suoi edifici e delle sue sedi.

Il Living LAB è stato realizzato presso la sede di corso Duca degli Abruzzi e può essere visitato su prenotazione. Una componente significativa degli strumenti presenti nel Living LAB è stata realizzata attraverso il portale WEB che viene descritto più avanti. La scelta di utilizzare la tecnologia web risponde infatti alla possibilità di remotizzare e delocalizzare parte delle funzioni dimostrative direttamente presso le utenze costituendo un laboratorio diffuso e permanente nell'organizzazione del Politecnico.

Si riporta in Figura 3 il rendering del Living LAB durante le fasi di progettazione.

Il Living LAB è stato inaugurato nel settembre 2010 dal Rettore del Politecnico e più volte utilizzato per dimostrazioni e presentazioni.

8. Il portale WEB

Il portale WEB realizzato è stato denominato Portale Living LAB (pLL) in quanto rappresenta anche lo strumento principale per il monitoraggio e la supervisione che vengono gestiti attraverso il laboratorio dimostratore e la control room.

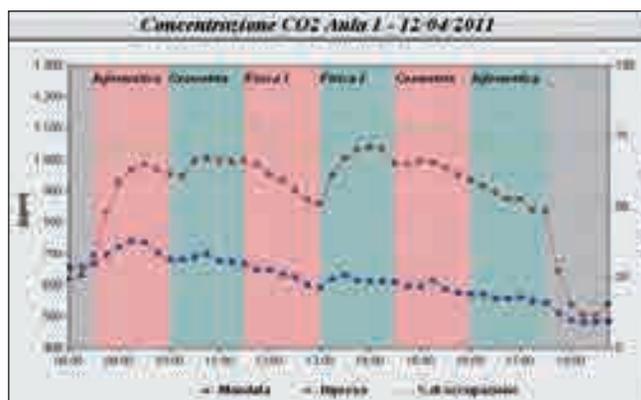
Il portale presenta alcune sezioni informative generali di interesse pubblico relative agli edifici ed in impianti presenti nel Politecnico rendendo disponibili linee guida di carattere generale e guide operative per specifici ambiti di applicazione del contenimento dei consumi. Veicola tutte le funzioni informative, grafici e report di andamento e confronto dei consumi energetici o qualsiasi altro contenuto multimediale attraverso un normale browser (http://www.swas.polito.it/services/w4e_living_lab/).

Il portale realizza un modello di accesso profilato in funzione della tipologia di utenza connessa. Sono stati definiti tre profili tipo: il *personale* (generico), il *responsabile* (di dipartimento, centro, area, unità), l'*Energy Manager*. L'accesso da parte dell'utente avviene attraverso una sezione del portale denominata *e io cosa posso fare?* a dimostrazione

Figura 7. Consolle per il monitoraggio e la programmazione on/off dei PC.



Figura 8. Monitoraggio occupazione aule tramite variazione percentuale CO₂.



A&RT

della possibilità che ciascun utente ha di contribuire individualmente.

Si riportano alcuni esempi tipici di utilizzo del pLL:

- il personale per ottimizzare il consumo elettrico del proprio PC utilizza il pLL per programmare l'accensione o lo spegnimento automatico, giornaliero e settimanale, della postazione di lavoro;
- il direttore di dipartimento confronta i consumi elettrici della propria struttura con quelli di altri dipartimenti o con i propri consumi storici. Li utilizza per introdurre policy interne e razionalizzare i costi energetici della bolletta virtuale. Utilizza il pLL per il monitoraggio periodico dei consumi. Viene avvisato dalle funzioni di allarme in caso di consumi sopra soglie predefinite;
- l'energy manager utilizza il pLL per monitorare l'andamento del consumo elettrico dell'intero Ateneo, delle singole sedi e delle singole unità organizzative. Rileva gli scostamenti tra consumi fatturati e consumi dei centri di costo. Predispose policy per le utenze e le veicola attraverso il pLL;
- studenti o frequentatori dell'ateneo che rilevano situazioni di sprechi o malfunzionamenti degli impianti utilizzano il portale per segnalare tempestivamente le anomalie;

Gli esempi riportati rappresentano solo un piccolo campione dei numerosi utilizzi del pLL possibili tutti indirizzati a far crescere la cultura della sostenibilità e la cosiddetta *user awareness*.

9. Ambiti di monitoraggio e casi pratici

Il portale è suddiviso in quattro sezioni principali che fanno riferimento ai quattro grandi ambiti di monitoraggio: energia, acqua, ambienti interni, ambiente esterno. All'interno di ogni ambito vengono presentati i cruscotti di monitoraggio disponibili e utili all'utente. Il personale dispone di cruscotti di monitoraggio semplificati con poche informazioni sintetiche. L'energy manager dispone di una console di cruscotti completa e dinamica in grado di dare il quadro d'insieme sui consumi di tutto l'ateneo.

In Figura 4 si riporta un esempio di cruscotto di monitoraggio per l'energia elettrica.

I grafici e report disponibili sono organizzati per tipologia (le righe) e per periodo di osservazione (colonne).

Si riportano di seguito alcuni casi significativi di monitoraggio che vengono effettuati attualmente dal sistema SIM-SIU e resi disponibili sul pLL:

- monitoraggio dei consumi elettrici per fasce F1-F2-F3: i grafici monitorano i consumi (kWh) che avvengono in fascia diurna e notturna permettendo di sensibilizzare l'utenza affinché si attivi per spostarli, quando possibile, in fascia notturna a minor costo. L'andamento in Figura 5 rappresenta la situazione di uno specifico dipartimento nei primi giorni del mese di aprile. Le

quote in colore verde rappresentano i consumi in fascia più economica. Il monitoraggio viene aggiornato con frequenza di 15';

- monitoraggio dei consumi idrici: i grafici monitorano i consumi di acqua potabile. L'andamento in Figura 6 rappresenta i consumi (m³) complessivi della sede di C,so Duca degli Abruzzi. Anche in questo caso vengono suddivisi i consumi in diurni-notturni. All'Energy Manager compete analizzare quanto emerge dal grafico che evidenzia un consumo elevato sostanzialmente stabile durante la notte;
- controllo dell'accensione e spegnimento dei PC da parte dell'utente: nell'ambito del progetto WiFi4Energy è stato messo a punto uno specifico sistema di monitoraggio e controllo dell'accensione/spegnimento dei PC dell'utente. Il sistema è stato progettato basandosi sui risultati del progetto di ricerca PoliSAVE (<http://polisave.polito.it/>) realizzato dal Dipartimento di Elettronica. Sono stati sviluppati nel pLL alcuni meccanismi per integrare PoliSAVE nel contesto organizzativo in modo che ciascun utente potesse consultare il registro delle proprie postazioni PC o workstation e programmare accensione e spegnimento in modo flessibile. Le funzioni di riaccensione forzata previste dal pLL permettono di accendere la postazione in remoto da internet anche quando è stata spenta (in realtà in stand-by);
- in contesti come quello dell'università, ove le attività vengono spesso svolte fuori orario o fuori sede, poter programmare lo stato del proprio PC può portare a riduzioni nei consumi fino al 50%. Il pLL rende disponibili funzioni di monitoraggio per centro di costo che permettono di conoscere lo stato dei PC del singolo dipartimento. La Figura 7 riporta la consolle di monitoraggio dello stato delle postazioni dell'utente.
- monitoraggio dell'utilizzo delle aule tramite rilevazione della variazione percentuale della CO₂: il monitoraggio fa parte dell'ambito di supervisione degli ambienti interni e rappresenta una sperimentazione innovativa di un sistema a basso costo per la rilevazione dello stato di utilizzo ed occupazione di grandi locali (ad es. le aule). Le aule sono infatti spazi "pregiati" in una università, il cui utilizzo ottimizzato può contribuire ad abbattere i costi di gestione (riscaldamento, raffrescamento, pulizie ecc.). Spesso costituiscono anche una risorsa *scarsa* rispetto alla quale la conoscenza dello *stato effettivo* può essere rilevante in fase di pianificazione e allocazione. Il pLL permette, in via ancora sperimentale, di controllare il livello di occupazione di grandi aule dotate di unità di trattamento aria (UTA) evolute, dotate di sensori di portata e CO₂ sui condotti di mandata e ripresa dell'aria. La Figura 8 riporta il grafico di andamento della CO₂ e del relativo stato di occupazione che viene dedotto secondo

un modello in via di messa a punto;

- la misurazione delle percentuali di CO₂ presenti nell'aria di mandata e ritorno e la loro variazione permette di definire con un buon livello di approssimazione il numero di persone presenti nell'aula. Se il modello in fase di affinamento darà risultati stabili ed attendibili, l'associazione dell'occupazione con le attività didattiche presenti in aula permetterà di effettuare analisi ex post sul reale utilizzo delle risorse fisiche dell'Ateneo.

La capacità del SIM-SIU è scalabile ed estendibile su nuove reti di sensori o nuovi impianti che vengano introdotti in Ateneo. La connessione tramite nuovi connettori costituisce l'elemento di integrazione eventualmente da sviluppare ad hoc. I sistemi di supervisione proposti dalle aziende che sono integrabili nativamente (ad es. basati su DBMS) o comunque aperti, possono essere facilmente inseriti nello schema generale di funzionamento. Per gli altri occorre prevedere questo tipo di apertura a livello di requisiti minimi già nelle procedure di selezione e di appalto in modo da garantirsi l'interoperabilità futura con il sistema integrato di monitoraggio.

I limiti alla capacità di monitoraggio del sistema rimangono invece presenti laddove la rete di sensori o di contatori di acquisizione è ancora insufficiente a coprire le esigenze.

Conclusioni e ricadute

Il progetto WiFi4Energy ha permesso di effettuare una ampia sperimentazione sul campo di sensori, reti di sensori, tecnologie innovative per il monitoraggio energetico ed ambientale, mettendo in evidenza i limiti ancora da superare per l'applicazione di reti di sensori wireless basati su protocolli aperti. Ha permesso al contempo di realizzare un prototipo funzionante dell'infrastruttura di servizi e strumenti per la supervisione integrata di edifici, ambienti e impianti utile al monitoraggio e controllo dei consumi energetici e dell'utilizzo di risorse scarse dell'Ateneo.

Ha fatto da catalizzatore per pianificare e avviare un insieme coordinato di interventi finalizzati al risparmio energetico ed all'ottimizzazione delle risorse. Tra questi la razionalizzazione dell'utilizzo dell'energia elettrica nelle fasce *peak* e *off peak*, la revisione della rete di contatori elettrici della sede di corso Duca degli Abruzzi per la contabilizzazione *per centri di costo* dei consumi, l'estensione di PoliSAVE alle strutture di ateneo.

Il sistema nei prossimi mesi verrà esteso alla nuova sede della *Cittadella del Design e della mobilità sostenibile* (Campus di Mirafiori) realizzata con soluzioni impiantistiche e di supervisione allo stato dell'arte. L'integrazione della nuova sede con l'infrastruttura unitaria di ateneo e con la strumentazione ed i servizi del Living LAB costituirà un buon banco di prova per dimostrare la validità del modello realizzato dal Politecnico con l'obiettivo di una suo ulteriore sviluppo e ricaduta verso il territorio.

Bibliografia e sitografia

- WiFi4Energy*, disponibile su www.wifi4energy.polito.it
- UNI EN ISO 7730, *Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica ed interpretazione del benessere termico mediante degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*, febbraio 2006
- <http://areweb.polito.it/strutture/cisda/Lamsa/default.htm>
- A. Astolfi, G. Mutani, A. Pellegrino, M. Filippi, *Objective and subjective assessment of environmental global comfort in Italian high school classrooms*, CISBAT 2003: Innovation in building envelopes and environmental systems, 2003
- UNI EN ISO 10551, *Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'influenza dell'ambiente termico mediante scale di giudizio soggettivo*, 2002
- R.J. De Dear, *A global database of thermal comfort field experiments, Field Studies of thermal comfort and adaptation*, in «ASHRAE Transactions», 104 (1), 1998, pp.15-26
- G. Mutani, L. Cazzetta, *Un modello adattativo per la valutazione del comfort termico e del consumo energetico degli edifici*, in «La Termotecnica», in corso di pubblicazione.
- http://aws.mq.edu.au/rp-884/RP884_Final_Report.pdf
- O. Gnawali, R. Fonseca, K. Jamieson, D. Moss, P. Levis, *Collection tree protocol*, in *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Berkeley, California, November 4-0, 2009
- J. Hill, D. Culler, *Mica: a Wireless Platform for Deeply Embedded Networks*, in «Micro IEEE», 22 (6), November/December. 2002, pp. 12-24
- J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, K. Pister, *System Architecture Directions for Networked Sensors*, in «SIGPLAN Not.», 35 (11), 2000, pp. 93-104
- W. Jang, W.M. Healy, M.J. Skibniewski, *Wireless Sensor Networks as part of a Web-Based Building Environmental Monitoring System*, in «Automation in Construction», 17 (6), August 2008, pp. 729-736
- J. Polastre, J. Hill, D. Culler, *Versatile low power media access for wireless sensor networks*, in *Proceedings of the 2nd international Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Baltimore, MD, USA, November 3-5, 2004
- J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, *Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research*, in *IPSN '05: Proceedings of the 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, 2005, paper n° 48
- E. R. Sanchez, C. Chaudet, M. Rebaudengo, *Improving preamble sampling performance in wireless sensor networks with state information*, in *Proceedings of the Sixth international Conference on Wireless on-Demand Network Systems and Services*, in *The 6th International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, Snowbird, UT, USA, February 2-4, 2009, pp. 101-108
- TinyOS*, disponibile su www.tinyos.net
- J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, *Wireless Sensor Network Survey*, in «Computer Networks», 52 (12), August 2008, pp. 2292-2330

La responsabilità energetico-ambientale di una grande industria: le azioni per la riqualificazione del patrimonio immobiliare esistente e i nuovi progetti di Lavazza S.p.A.

The energy and environmental responsibility of a big firm: retrofit actions on the existing building stock and new projects of Lavazza S.p.A.

BARBARA CONTI, VALERIA BRANCIFORTI

Barbara Conti, ingegnere, Energy Manager di Lavazza S.p.A.
b.conti@lavazza.it

Valeria Branciforti, architetto, dottoranda in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito presso Politecnico di Torino
valeria.branciforti@polito.it

La responsabilità energetico-ambientale di aziende ed industrie è da alcuni decenni un tema di interesse crescente: imprenditori ed addetti ai lavori si adoperano per migliorare le *performance* ambientali della propria attività su fronti diversi, compresi gli interventi sul patrimonio immobiliare in possesso. Vengono presentati alcuni degli interventi che la Luigi Lavazza S.p.A ha avviato con l'obiettivo di incrementare la sostenibilità del proprio patrimonio edilizio. Essi sono diversi per destinazione d'uso (uffici, stabilimenti produttivi, magazzini, laboratori) epoca di realizzazione (dagli edifici originari degli anni '60 ai nuovi progetti esito di concorsi d'architettura) e collocazione (Torino e Piemonte, ma anche nuovi stabilimenti all'estero, come in India). Per ciascun progetto sono state sviluppate delle potenzialità ed applicate soluzioni innovative differenti in funzione dello stato di fatto, dei vincoli strutturali, delle necessità locali e degli obiettivi aziendali, mostrando difficoltà ed opportunità presenti.

The corporate social responsibility of companies and industries is a field of increasing interest since some decades: entrepreneurs and insiders work to improve the environmental performances of their activity in various directions, also with interventions on the buildings they own. In the article some cases are presented about the process that Luigi Lavazza S.p.A company has started in order to increase the sustainability of its buildings. They have differences in term of use (offices, productive areas, storages, laboratories) in term of construction period (original buildings of the '60s and new projects, results of architectural competitions), in term of placement (Turin and Piedmont, but also new settlements abroad, as the one in India). In each case the different potentials of the project have been developed and different innovative solutions have been applied, depending on the initial situation, the local needs and company's aims, showing all the difficulties and opportunities included in each project.

1. La Luigi Lavazza S.p.A.

La Luigi Lavazza S.p.A., fondata nel 1895, è una storica azienda italiana leader di mercato per il consumo del caffè espresso. 17 miliardi sono ogni anno le tazzine di caffè Lavazza consumate in tutto il mondo. La società, che genera un fatturato annuo di oltre 1,1 miliardi di Euro, conta circa 4.000 addetti di cui circa 1.700 in Italia.

2. La responsabilità energetico ambientale di una grande industria

La responsabilità energetico-ambientale di aziende ed industrie è da alcuni decenni un tema di crescente attenzione da parte di vari soggetti: gli industriali, che vedono nella sostenibilità una sfida onerosa ma irrinunciabile; gli amministratori e gli enti pubblici che curano la tutela ambientale; i cittadini che hanno interesse alla mitigazione degli impatti ambientali e ad una buona qualità dell'ambiente urbano e naturale; i professionisti per i quali si

Figura 1. Estratto delle Linee Guida di Architettura Coordinata di cui si è dotata l'azienda.



Figure 2a, 2b. Nuovo stabilimento produttivo in India: rendering di progetto e foto di cantiere.



Figura 3. Stabilimento produttivo di Gattinara (VC): vista dell'impianto fotovoltaico installato in copertura.



Figure 4 e 5. Viste esterne dell'Innovation Centre presso Settimo Torinese.



A&RT

apre un vasto mercato.

La legislazione stessa ha incentivato lo sviluppo delle sensibilità delle aziende verso le problematiche energetiche istituendo¹, per le realtà più consistenti, l'obbligo della nomina di *Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'Energia*, denominato *Energy Manager*, avente il compito di individuare le azioni, gli interventi e le procedure per promuovere una gestione consapevole delle risorse energetiche.

La Luigi Lavazza SpA, nella volontà di intraprendere un percorso di miglioramento delle proprie performance energetico-ambientali, si è dotata di *Linee Guida di Architettura Coordinata*. Tale documento racchiude i principi e le regole che l'azienda si è data per la progettazione, realizzazione e conduzione degli edifici in cui svolge le proprie attività.

Il patrimonio immobiliare dell'azienda, che ha una lunga storia e sviluppa molteplici attività, è estremamente diversificato e si compone di fabbricati differenti in quanto a destinazione d'uso (stabilimenti produttivi, uffici, laboratori, aule didattiche, sale riunioni e conferenze ecc.), epoca di costruzione e localizzazione (stabilimenti ed uffici in paesi con caratteristiche climatiche, vincoli normativi ed abitudini gestionali anche molto differenti dalle nostre).

Nel seguito sono descritti alcuni interventi architettonici recentemente eseguiti o in corso di realizzazione al momento della stesura della presente nota. La varietà del patrimonio immobiliare rende possibile un'analisi su manufatti con diversa destinazione d'uso sui quali sono state sviluppate potenzialità ed applicate soluzioni innovative differenti in funzione dello stato di fatto, dei vincoli strutturali, delle necessità locali e degli obiettivi aziendali.

3. Obiettivi di sostenibilità su progetti ex-novo

3.1. Nuovo centro direzionale Torino: obiettivo LEED

Nel 2009 la Luigi Lavazza S.p.A. decide di realizzare un nuovo centro direzionale con la volontà di farne un'icona architettonica nella città in cui nacque.

Per la progettazione l'azienda sceglie la proposta dell'architetto Cino Zucchi che interpreta creativamente le linee guida ed i requisiti di sostenibilità che animano il pensiero di Lavazza sugli spazi dell'azienda in Italia e nel mondo.

A testimoniarli sarà la certificazione volontaria LEED² (*Leadership in Energy and Environmental Design*).

3.2. Nuovo stabilimento produttivo in India

La Luigi Lavazza S.p.A. sta costruendo un insediamento produttivo, con annessi uffici e laboratori, nella regione dell'Andhra Pradesh (India nord-orientale).

Lo stabilimento sorgerà all'interno di un parco industriale privato in via di realizzazione, denominato Sri City, in posizione favorevole rispetto alle vie di comunicazione principali.

Anche in questo caso si è scelto di aderire ad un protocollo di certificazione architettonica che attesta la realizzazione

dei fabbricati secondo criteri di sostenibilità: si tratta del *Green Factory Building Rating System* elaborato dall'IGBC (*Indian Green Building Council*)³. A tale scopo alcuni dei temi su cui i progettisti si sono concentrati riguardano peculiarità climatiche del contesto in cui l'edificio si trova: ad esempio, l'importanza e la scarsità della risorsa idrica hanno portato alla predisposizione di una vasca interrata per il recupero dell'acqua piovana, che verrà poi utilizzata, previo trattamento, per irrigazione e servizi igienici. L'involucro opaco è realizzato come facciata ventilata ed i percorsi pedonali esterni sono coperti.

3.3. Stabilimento produttivo di Gattinara

Nel corso del 2010 è stato costruito presso lo stabilimento produttivo di Gattinara (VC) un impianto fotovoltaico completamente integrato: i pannelli fotovoltaici sono stati infatti utilizzati come parti integranti della copertura di un fabbricato di nuova realizzazione.

I medesimi sono stati posati con giacitura complanare rispetto al manto ed hanno dovuto sottostare ad alcuni vincoli geometrici dell'edificio, quali l'orientamento delle falde est-ovest e l'inclinazione delle falde (5° rispetto all'orizzontale). Tale scelta, compromesso tra massimizzazione della produttività dell'impianto e integrazione architettonica, ha dato un miglior risultato in termini di qualità dell'edificio.

I 2940 moduli installati contengono silicio policristallino ed hanno potenza nominale di 217 W ciascuno, per una potenza nominale totale di 640 kWp. La superficie totale installata – circa 5.000 m² – ha una produzione annua attesa di 700.000 kWh e permette di evitare l'emissione in atmosfera di 372 ton CO₂/anno.

Il contratto stipulato col GSE (Gestore Servizi Elettrici) per 20 anni, consente di usufruire di una tariffa incentivante sull'energia prodotta (che per impianti con potenza superiore a 20 kW ed architettonicamente integrati viene pagata 0,422 €/kWh), di un risparmio sull'energia autoprodotta e consumata di 0,120 €/kWh e di un guadagno sull'energia venduta con ritiro dedicato da GSE di 0,098 €/kWh.

Nella scelta di realizzazione di impianti di tale tipo e dimensione, oltre agli aspetti economici, occorre però tenerne presente anche alcuni altri di tipo tecnico-amministrativi che richiedono particolare attenzione gestionale, quali l'interfacciamento elettrico all'impianto esistente, la manutenzione e la gestione fiscale.

4. Interventi sul patrimonio immobiliare esistente: Innovation Center di Torino

4.1. Dati generali e cenni storici dell'insediamento e dell'edificio

Il principale insediamento produttivo della Luigi Lavazza S.p.A. si trova su un vasto lotto al confine fra i tre comuni di Torino, San Mauro e Settimo Torinese. L'assetto attuale è frutto di uno sviluppo edilizio che ebbe inizio nel 1965, anno di inaugurazione del primo capannone produttivo in Strada Settimo. Fino ad allora la lavorazione del caffè era avvenuta in corso Novara, oggi sede dell'headquarter. La crescente domanda, l'aumento della

capacità produttiva, lo sviluppo tecnico dei macchinari, le innovazioni nella lavorazione del prodotto e la crescente automazione di alcune fasi, hanno portato negli anni a successivi ampliamenti dei fabbricati originari, all'acquisto di terreni confinanti per la costruzione di nuovi edifici ed all'acquisizione di immobili circostanti. Oggi l'area si estende su 70.000 m², di cui circa 30.000 m² coperti, e comprende tre fabbricati in cui avviene la lavorazione ed il confezionamento del caffè (più un quarto attualmente in fase di allestimento e rifunzionalizzazione), uno contenente i silos per il ricevimento e lo stoccaggio del caffè crudo, due magazzini per lo stoccaggio degli imballi e per il prodotto finito ed infine la palazzina uffici ridenominata, dopo il grande intervento di cui è stata oggetto, *Innovation Center*.

4.2. Da Palazzina Uffici ad Innovation Center

L'edificio, ubicato lungo Strada Settimo all'ingresso dello stabilimento, appartiene al nucleo originario ed era noto come "palazzina uffici". È un unico corpo di fabbrica, costruito nel 1963 con tre piani fuori terra più uno interrato e successivamente sopraelevato di un ulteriore livello. Si presenta come un volume compatto con tetto piano, a pianta rettangolare (circa 75 m x 12 m al piano terreno e 75 m x 16 m ai piani superiori) oggi articolato su 5 piani, compreso l'interrato, per complessivi 5.400 m² di superficie. Nuove esigenze aziendali e la necessità di ospitare nuove funzioni all'interno dei locali sono state l'occasione per intraprendere un significativo intervento che tra il 2008 ed il 2010 ha portato ad un profondo rinnovamento. L'esperienza condotta ha mostrato tutta la complessità di un intervento sul patrimonio esistente, che abbia anche obiettivi di sostenibilità, ancor più se tutti i lavori vengono svolti senza interrompere le attività lavorative che vi hanno sede. Con l'inaugurazione nell'autunno 2010 è stato possibile apprezzare il risultato dell'*Innovation Center*, ossia la riqualificazione architettonica ed energetica di un edificio esistente, che ne ha modificato non solo l'immagine ma soprattutto la distribuzione interna, l'involucro, gli impianti ed i sistemi di gestione. Oggi l'immagine con cui l'azienda si mostra alla città ha mutato tanto l'aspetto quanto la destinazione d'uso: è infatti un edificio polifunzionale che ospita laboratori, aule, sale riunioni, una sala conferenze che può ospitare oltre 100 persone, con locali regia/traduzione simultanea, uffici, locali per esposizioni, cucina e mensa ecc. Molti di questi locali sono attrezzati per essere fortemente flessibili rispetto alle esigenze aziendali (ad esempio alcune sale conferenze possono essere rapidamente suddivise tramite pareti mobili) e di conseguenza arredi, apparecchiature ed impianti sono stati già ideati per garantire condizioni soddisfacenti di comfort e funzionalità nelle diverse configurazioni possibili.

4.3. Alcuni passi verso la sostenibilità

La scelta di cogliere tale occasione per migliorare l'edificio in termini di sostenibilità ha indotto ad un percorso progettuale che prendesse in considerazione vari aspetti in maniera integrata, per giungere ad un risultato coerente,

funzionale e di qualità architettonica. Gli strumenti messi in atto per raggiungere tale scopo hanno riguardato interventi sull'involucro e sugli impianti esistenti, interventi per garantire il comfort visivo e termico, la realizzazione di un parcheggio "verde" (in cui ad asfalto o autoblocanti è stato preferito un manto erboso – prato armato – e l'utilizzo di traversine ferroviarie, recuperate e opportunamente trattate, per la suddivisione degli stalli), percorsi pedonali esterni in doghe lignee.

4.4. Percorso progettuale: distribuzione interna ed interventi sull'involucro

Una buona prestazione dell'edificio in termini di gestione ed utilizzo, non può prescindere da un buono studio della distribuzione interna, dei collegamenti e dei percorsi orizzontali e verticali. Solo scelte progettuali corrette in questa fase potranno avvalersi al meglio delle più recenti soluzioni tecnologiche ed impiantistiche.

L'*Innovation Center* presentava una distribuzione planimetrica relativamente semplice: ad esclusione del seminterrato, in cui i vani si adattano ad ospitare locali tecnici per gli impianti, gli altri piani presentavano un corridoio centrale longitudinale che dava accesso ad uffici sui due lati. Tale disposizione è stata mantenuta, poiché ritenuta la più funzionale anche per le nuove attività da ospitare, ma le partizioni verticali interne sono state completamente sostituite: in particolare quelle che separano corridoio ed ufficio sono ora pareti vetrate, così da massimizzare la quantità di illuminazione naturale lungo gli spazi di circolazione, che necessitano perciò di una minima integrazione con illuminazione artificiale. Fanno eccezione a questa articolazione alcune aree più ampie, quali sala conferenze, che occupano l'edificio per l'intera larghezza della manica.

Anche l'altezza interpiano netta, pari a 3 m, ha consentito in fase di rinnovamento di ridurre a 2,7 m l'altezza interna dei locali e realizzare controsoffittature e "pavimenti galleggianti": in questi spazi la distribuzione di reti elettriche, idriche, informatiche e telefoniche è stata più flessibile ed agevole.

Per quanto riguarda i collegamenti verticali sono presenti due blocchi scala con ascensori, più una scala esterna, di nuova realizzazione. Inoltre alcuni cavedi verticali già esistenti, e non più utili, sono stati sfruttati, previa compartimentazione di sicurezza, come locali tecnici per il passaggio degli impianti. Si tratta in particolare di un vano scala (la cui scala è stata demolita) ed un condotto delle canne fumarie (non più presenti da quando la centrale termica è stata dismessa). Questi vani sono ora il passaggio di condotti per il trasporto dei fluidi (aria e acqua), reti elettriche ed informatiche. Questa soluzione ha permesso di sfruttare spazi inutilizzati, evitare volumi ulteriori addossati alla facciata e conservarne l'uniformità, poiché dall'esterno tali vani hanno mantenuto la finestratura precedente, analoga ad altri locali, e non sono perciò distinguibili.

L'intervento che risulta immediatamente più evidente è quello che ha interessato le facciate esterne ed ha completamente modificato l'aspetto dell'immobile originario.

A&RT

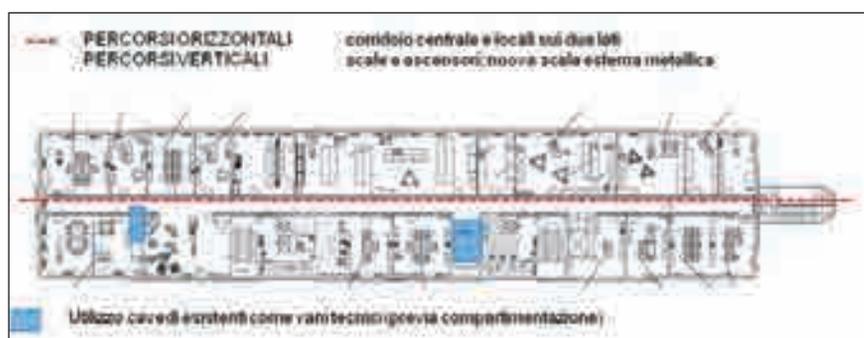
Figura 6. Trattamento a manto erboso "armato" dell'area di parcheggio prospiciente l'Innovation Centre.



Figura 7. Innovation Centre: nuova sistemazione dei percorsi distributivi interni agli uffici.



Figura 8. Innovation Centre: pianta di un piano tipo ed analisi del sistema di distribuzione.



L'intervento sull'involucro edilizio porta, oltre al fattore estetico, notevoli vantaggi dal punto di vista energetico e del comfort dell'ambiente interno. La precedente facciata, realizzata con doppio paramento in laterizio e isolante in intercapedine, è stata mantenuta e migliorata, con l'apposizione di alcuni strati verso l'esterno, al fine di migliorarne le prestazioni termo-igrometriche. In particolare si è aumentata la resistenza termica complessiva incrementando lo strato coibente verso l'esterno con materassini di poliuretano espanso, e sono state migliorate in generale le prestazioni termo-igrometriche con la realizzazione di una facciata ventilata, ossia un rivestimento, di pannelli in alluminio con anima in polietilene, staccato dalla struttura muraria da un'intercapedine d'aria di alcuni centimetri, in cui si crea per effetto camino una circolazione d'aria. Tale soluzione è nota per portare vantaggi nel controllo della condensazione e nel risparmio energetico tanto nella stagione invernale (risparmio energetico per riscaldamento grazie alla diminuzione delle dispersioni di calore verso l'esterno) quanto in quella estiva (risparmio energetico per raffrescamento grazie al minore surriscaldamento della muratura esterna).

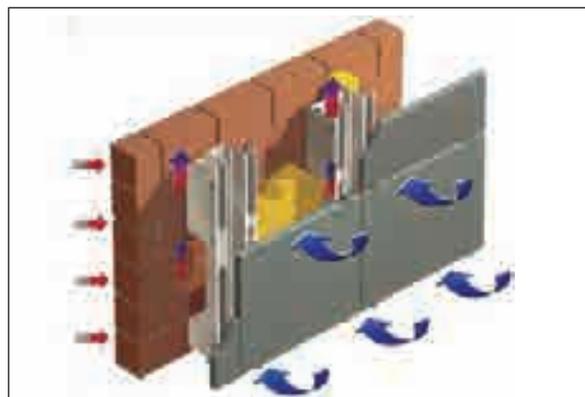
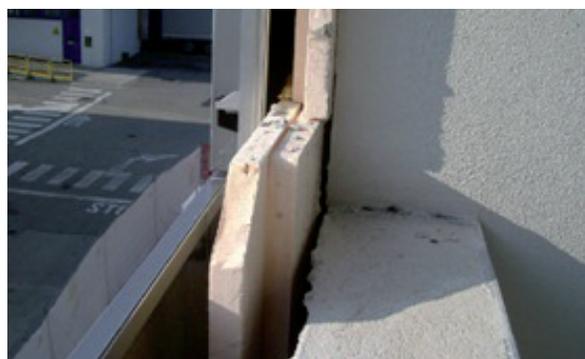
La struttura di supporto dei pannelli è costituita da montanti verticali in alluminio appositamente estruso, fissati con scansione regolare direttamente alla parete esistente, a cui i pannelli sono stati semplicemente agganciati, rendendo rapida e sicura la fase di montaggio. La lamiera d'alluminio è stata scelta inoltre per realizzare numerose altre parti, quali i telai dei serramenti esterni (i precedenti serramenti sono stati sostituiti con nuovi serramenti a taglio termico), i davanzali, il cornicione ed i frangisole microforati posti a schermatura delle finestre. Questo materiale è stato preferito per numerose parti non solo per la coerenza che l'insieme viene così ad assumere, ma soprattutto in quanto leggero, facilmente lavorabile e durevole grazie alla pellicola di ossido che si forma con l'esposizione all'esterno.

4.5. Gli impianti a servizio dell'edificio

Così come l'edificio, anche il sistema impiantistico è stato adeguato alle nuove esigenze degli utenti. Per ognuno degli usi finali, si è operato al fine di migliorare l'efficienza e attuare, ove possibile, strategie di risparmio energetico e sfruttamento di fonti rinnovabili. Il sistema edificio-impianto è inoltre stato dotato di sistemi informatici e tecnologici di gestione e controllo programmabili, dotati di supervisione centrale e con alcune possibilità di variazione da parte dell'utente.

Figura 9. Innovation Centre: uno degli ambienti di ricerca e formazione.

Figure 10a, 10b, 10c, 11a, 11b. Particolari costruttivi della facciata durante i lavori di riqualificazione dell'involucro.



A&RT

Per la climatizzazione invernale l'*Innovation Center* è connesso alla centrale termica di stabilimento, alimentata con gas metano. Al piano interrato dell'edificio si trova la sottostazione termica principale di riscaldamento: qui alcuni scambiatori consentono di riscaldare il fluido vettore caldo che i sistemi di pompaggio portano alla sottostazione in copertura. Il tetto piano è infatti stato utilizzato per collocarvi tutti gli altri macchinari necessari al trattamento di liquidi ed aria e tutti i sistemi di distribuzione e smistamento ai diversi piani: oltre all'arrivo dei condotti del circuito caldo, si trovano qui la centrale frigorifera che alimenta il circuito freddo e l'unità di trattamento aria (U.T.A.).

La centrale frigorifera è composta da due refrigeratori ad acqua, per la produzione del fluido freddo che viene inviato sia all'U.T.A. sia al circuito per la climatizzazione ambientale.

La sottostazione termo-frigorifera è una costruzione realizzata in copertura con doppia lamiera sandwich in alluminio trattato esternamente ed internamente, ed isolato con 5 cm di poliuretano espanso. Sono qui collocati una serie di collettori che distribuiscono ai vari piani dell'edificio i fluidi vettori provenienti dal circuito caldo e da quello freddo.

I terminali d'impianto per la climatizzazione sono dei ventilconvettori a quattro tubi, inseriti a parete in arredi appositamente studiati, utilizzati tanto per la climatizzazione invernale quanto per quella estiva. Essi sono gestiti da un controllo tramite sonda ambientale e interfacciati con il sistema di supervisione centrale. L'utente ha la possibilità di modificare la temperatura di set-point di 3°C in più o in meno e di modificare la velocità del ventilatore, operando da un'apposita pagina grafica disponibile sul proprio computer. In alcuni locali è stato previsto un secondo sistema di climatizzazione integrativo rispetto ai ventilconvettori: la sala riunioni del primo piano è dotata di travi induttive poste a soffitto, alimentate con fluido freddo o caldo, e di alcune bocchette di immissione d'aria lungo il perimetro della sala. La hall/reception al piano terreno è provvista di due impianti, uno con pannelli radianti a pavimento per il solo riscaldamento, l'altro a tutt'aria, con bocchette di immissione a soffitto e griglie di prelievo. Per contrastare l'ingresso rapido di correnti fredde esterne a temperatura diversa da quella interna, è inoltre presente un termoventilatore che realizza la cosiddetta "lama d'aria" ogni qualvolta la porta viene aperta. Il rinnovo dell'aria è garantito da un impianto di ventilazione meccanica controllata. La circolazione è attivata da un elettroventilatore per immissione ed espulsione dell'aria dai locali. Il fluido è trattato nell'unità di trattamento aria, per quanto riguarda la purezza ed il controllo di umidità e temperatura dell'aria in estate ed in inverno. Le batterie di riscaldamento e raffreddamento dell'aria sono alimentate dagli stessi circuiti caldo e freddo utilizzati per la

climatizzazione. Essa viene distribuita in canali di lamiera zincata opportunamente isolati ed immessa in ambiente e prelevata tramite diffusori circolari.

Gli impianti illustrati sono dotati di dispositivi di risparmio energetico quali, ad esempio, recuperatori di calore dall'aria in espulsione per pre-riscaldamento dell'aria di rinnovo nel ciclo di riscaldamento invernale, e recuperatori del calore di compressione del gas refrigerante per il circuito di post-riscaldamento estivo nelle unità di trattamento aria per il controllo dell'umidità relativa: nella stagione estiva, quando la centrale termica non è in funzione, quest'ultimo recupero è sufficiente da solo per il post-riscaldamento dell'aria deumidificata nell'U.T.A., senza bisogno di integrazione di altro genere.

L'impianto idrico ha origine al piano interrato ed è costituito dalle reti di acqua fredda, di acqua calda e di ricircolo di quest'ultima. Per la produzione di acqua calda sanitaria per i servizi igienici ai vari piani degli uffici, viene utilizzata anche la radiazione solare: 5 pannelli solari termici vetrati per un totale di 10 m² di superficie captante, pre-riscaldano l'acqua, tramite un circuito separato di serpentine, che dalla copertura giunge, grazie ad elettropompa, ai due bollitori da 2.000 litri ciascuno, collocati al piano interrato. I sistemi di accumulo, alimentati dalla rete dell'acquedotto, sono dotati di tre sistemi di riscaldamento indipendenti: il circuito solare, il circuito d'acqua calda a 75°C proveniente dalla centrale termica e quello elettrico. Durante la stagione invernale è il circuito alimentato dalla centrale termica ad integrare col calore necessario la quota che i pannelli solari termici non sono riusciti a fornire. Durante l'estate invece, quando non solo la radiazione solare è presente in quantità e tempo superiori ma inoltre la centrale termica di stabilimento non è in funzione, a supporto dell'impianto solare termico è previsto uno elettrico, che entra in funzione qualora la temperatura dell'acqua negli accumuli non sia al livello richiesto (55°C per ottenere acqua a 45°C). Il dimensionamento dell'impianto solare termico è stato fatto per raggiungere una copertura del 60% del fabbisogno annuo, così come prescrive la norma regionale.

4.6. Domotica e risparmio energetico

La gestione ed il controllo dei sistemi e delle condizioni interne è affidato ad un sistema di supervisione che integra il sistema di domotica e garantisce: il controllo puntuale e continuo di tutti gli impianti; il coordinamento e l'ottimizzazione della gestione dell'illuminazione; la registrazione ed elaborazione di alcuni dati al fine di conoscere le situazioni che si presentano e migliorare progressivamente la prestazione dell'edificio-impianto. È ad esempio possibile effettuare programmazioni settimanali degli impianti, visualizzare eventuali malfunzionamenti, effettuare analisi statistica sugli "storici" dei consumi, conoscere le modifiche che i singoli utenti operano

rispetto ai valori di set-point impostati. Per la gestione dei ventilconvettori è stata introdotta la modalità cosiddetta “cruscotto”, che consente ad ogni utente di controllare dal proprio computer i parametri climatici del proprio ufficio e l’illuminazione.

Sfruttando le tecnologie oggi disponibili è stato possibile introdurre alcuni accorgimenti volti esplicitamente al risparmio energetico: sensori di presenza per l’accensione e lo spegnimento degli apparecchi di illuminazione; strumenti di misura della quantità di luce naturale e conseguente regolazione automatica di quella artificiale; sensori per il rilievo della temperatura ambiente e l’accensione o spegnimento dei ventilconvettori; timer per lo spegnimento automatico delle apparecchiature a fine giornata (proiettori, computer, apparecchi di illuminazione dei percorsi principali, macchine del caffè). In particolare la riaccensione di questi apparecchi può avvenire solo con azionamento da parte dell’utente, evitando così inutili sprechi (si veda l’esempio di una sala riunioni usata saltuariamente da gruppi diversi). Sono esclusi da questo sistema di controllo alcuni locali con esigenze specifiche, quali ad esempio i laboratori in cui si testano le proprietà

delle macchine da caffè professionali dopo molte ore di accensione.

Note

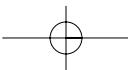
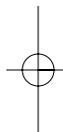
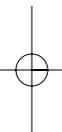
¹ La figura del *Responsabile per la conservazione e l’uso razionale dell’energia* (più comunemente noto come *Energy Manager*) entra in vigore in Italia con la legge 308 del 1982, ma solo per le imprese con più di mille dipendenti e con consumo riferito all’anno precedente superiore a 10.000 Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP). La legge 10 del 1991 estende la nomina di tale figura anche ai settori civile, terziario e trasporti, abbassando la soglia di riferimento a 1.000 TEP.

² LEED è un sistema di rating che promuove l’applicazione di principi sostenibilità a livello progettuale e realizzativo di fabbricati, attribuendo ad essi dei crediti qualora vengano assicurate buone prestazioni energetico-ambientali in settori chiave, quali il risparmio energetico ed idrico, la riduzione delle emissioni di CO₂, il miglioramento della qualità ecologica degli interni, i materiali e le risorse impiegati, il progetto e la scelta del sito. Tale sistema è stato sviluppato dalla U.S. Green Building Council (USGBC).

³ www.igbc.in.



A&RT



I nuovi approcci al progetto edilizio
New approaches to building design



A&RT

Introduzione

Foreword

I relatori del quinto incontro provengono da ambiti disciplinari tradizionalmente molto distanti quali la composizione architettonica, le discipline della rappresentazione, l'energetica edilizia, l'acustica architettonica e l'illuminotecnica, e tuttavia le tematiche che hanno trattato sono accomunate da una progettazione (intesa in senso lato) assistita dal computer che è in grado di configurare nuovi approcci, non solo in termini strumentali, ma sostanziali, al progetto edilizio. Le potenzialità degli strumenti di simulazione per gli edifici (in generale *building simulation*), dal *concept design* fino al *commissioning*, sono molto elevate e tendono ad aumentare rapidamente. Tuttavia all'interno di un reale processo progettuale si assiste ad un uso limitato di questi strumenti, e spesso circoscritto alle fasi in cui le scelte fondamentali sono già state prese. Non è certo semplice indagare le ragioni di questa situazione, ma è possibile quantomeno riportarne alcuni degli aspetti più significativi.

Una prima causa può essere individuata nel contrasto tra la pratica ingegneristica, per cui si ricerca una soluzione ad uno specifico problema attraverso software di calcolo dettagliati e dedicati ad un ambito particolare (termoenergetico, illuminotecnico, acustico,) e la pratica architettonica che lavora in maniera multidisciplinare soppesando – anche se talvolta in maniera sperequata – un insieme di problemi diversi (formale, strutturale, energetico, economico, urbanistico ecc.). Inoltre, la condivisione e lo scambio delle informazioni sono problematici per il differente grado di dettaglio dell'informazione richiesta dai vari software, perché le simulazioni sono effettuate da simulatori e con scopi diversi.

All'interno dello scenario sopra descritto, le relazioni presentate nel quarto incontro, moderato da Anna Osello, possono essere suddivise in tre nuclei diversi. Le prime tre relazioni riguardano il ruolo di ausilio alla progettazione che gli strumenti informatici attuali garantiscono, dalla progettazione parametrica al Building Information Modelling (BIM). Un secondo nucleo riguarda la simulazione termoenergetica degli edifici, con una relazione che introduce al tema e apre alle prospettive future, e due contributi specifici attinenti applicazioni della simulazione energetica che consentono di sottolineare le potenzialità degli strumenti disponibili e commentare criticamente gli esiti di specifici casi di studio diversi. Infine, un terzo nucleo di relazioni attiene a due campi più specifici, ovvero la progettazione acustica e la progettazione illuminotecnica assistite da computer: in tal caso ciascuna relazione associa ad un inquadramento dei modelli di calcolo una panoramica sugli strumenti software disponibili per l'acustica architettonica e per l'illuminazione naturale e artificiale.

La maggiore sfida che la progettazione assistita dal computer ha al momento, come accade in molti altri ambiti, è quella dell'integrazione.

Enrico Fabrizio

La progettazione parametrica: la genetica dell'architettura o fashion digitale?

Parametric design: architecture genetic or digital fashion?

RICCARDO BALBO

La progettazione parametrica oggi è possibile grazie all'introduzione di nuove tecnologie digitali, in grado di permettere manipolazioni "realistiche" e operazioni sequenziali sulle leggi di generazione della forma, più che definizione dei singoli oggetti. Il paper riflette sulle radici del pensiero parametrico in architettura e indaga quali siano gli scenari possibili di sviluppo della ricerca e della professione in questo ambito.

The Parametric approach to design disciplines today has been made possible by the introduction of digital technologies that let designers manipulate realistically objects and act sequential operations on form generation laws, rather than "carving" single objects. The paper aims to reflect on the background and the roots of the parametric thinking in architecture and to investigate how to address the research, industry and education.

Riccardo Balbo, architetto, dottore di ricerca, professore di Digital Architectural Design presso la School of the Built Environment, University of Salford, Greater Manchester, cofondatore di MInD group – Mediated Intelligence in Design.

R.Balbo@salford.ac.uk

1. Parametri e leggi

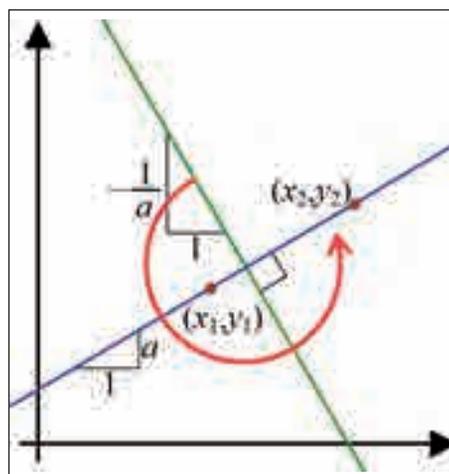
Per comprendere il funzionamento, i significati e le opportunità professionali, didattiche e di ricerca della progettazione parametrica, è necessario sgombrare il campo da alcune immagini che associano questo approccio contemporaneo al progetto con le tecnologie digitali, per considerarne alcuni aspetti centrali.

Il termine parametrico viene mutuato dal linguaggio matematico. Senza pretenderne una trattazione esaustiva, si osservi una funzione, nella quale si trovano variabili e parametri. Essa determina una legge che può generare – nella sua rappresentazione – delle forme. Tale legge si fonda su un sistema di relazioni tra variabili. Le variabili, nel loro mutare, descrivono un certo stato. Così ad esempio, in una funzione sinusoidale, al crescere della variabile indipendente si descrive un moto ciclico della variabile dipendente. La variabile indipendente deve variare per poter descrivere il fenomeno. La funzione è la legge che regola il fenomeno. La variabile dipendente è l'esito del fenomeno applicato ad un particolare oggetto – la variabile indipendente appunto. L'insieme di questi eventi compone il fenomeno, che in analisi matematica si può rappresentare con dei grafici.

I parametri sono numeri che afferiscono alle leggi – le funzioni: il loro variare non cambia il tipo di legge, ma ne condiziona, anche in maniera drammatica – il fenomeno. I parametri non variano all'interno di una funzione. Ma il loro variare descrive famiglie di funzioni, che noi sappiamo appartenere alla stessa radice e che descrivono fenomeni differenti.

Una relazione di crescita lineare tra due grandezze si rappresenta con una retta. La crescita è la legge, ma occorre che una variabile cresca in modo indipendente, che legata ad una altra variabile – dipendente – fornisce un esito, la rappresentazione della funzione. Nell'ambito della medesima legge, il coefficiente angolare di tale retta è l'indicatore di quanto questa legge di crescita sia accentuata: più è alto il suo valore, più il fenomeno è accentuato, più la retta è inclinata verso l'alto. Il coefficiente angolare è un parametro.

Figura 1. I parametri della finzione di una retta concorrono a descrivere tutto lo spazio piano.



A&RT

Se immaginiamo di avere un sistema di rappresentazione dinamica delle funzioni su un monitor, al crescere del coefficiente angolare la retta si inclina sempre di più verso l'alto sino a divenire verticale; poi per farla inclinare nell'altro senso, bisogna aprire il parametro all'insieme dei numeri negativi. Con il coefficiente angolare che cresce da $-\infty$ a $+\infty$ sul monitor appare una rotazione che descrive un piano orizzontale.

Un primo punto importante per la comprendere la progettazione parametrica è legato quindi alla differenza tra il variare delle variabili e il variare dei parametri. Manipolarli significa generare rappresentazioni di forme differenti: ma in un caso si rappresenta il fenomeno di una legge, nel secondo una famiglia di fenomeni appartenente alla stessa legge.

Nella progettazione parametrica digitale questa confusione avviene di continuo, quasi certamente legata al fatto che gli elementi manipolabili sono solo i parametri: anzi è proprio uno dei presupposti delle tecnologie digitali quello di gestire per noi l'elaborazione delle variabili, lasciandoci la libertà di agire e studiare le leggi.

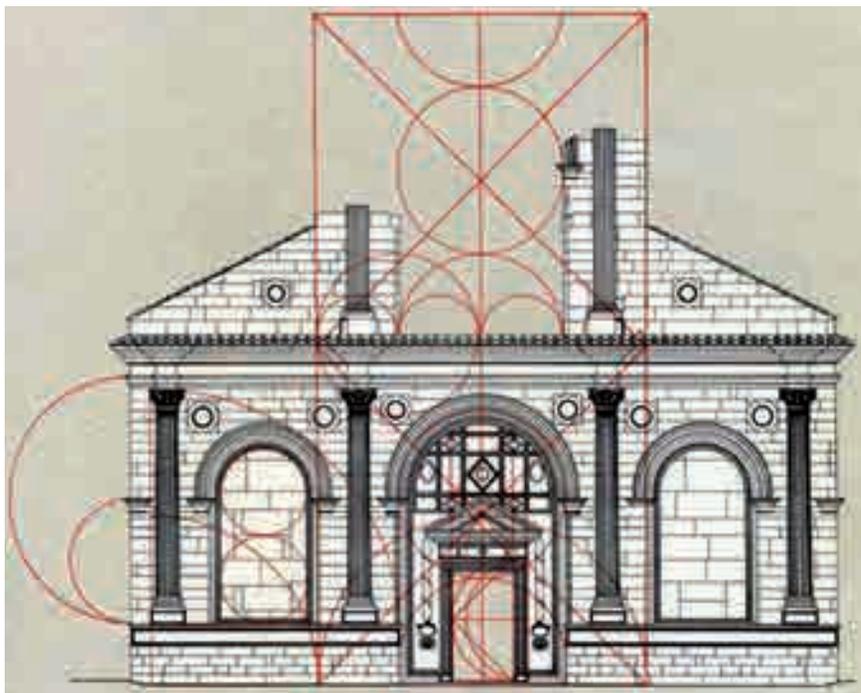
2. Complessità e creatività

È necessario ora soffermarsi su alcune considerazioni riferibili all'epistemologia del progetto.

Anche nella sua trasparenza etimologica¹, il progetto esiste quando sono soddisfatte le condizioni di necessità di miglioramento di una determinata situazione, vi siano risorse, vi sia una chiara situazione di partenza – i vincoli. La non soddisfazione di una di queste condizioni mette in crisi la possibilità di una azione progettuale². Soffermandoci sulle risorse, è evidente quanto esse siano per definizione presenti (pena il non progetto) ma limitate. E che i vincoli-obiettivi siano necessari (pena la vertigine nichilista del “tutto è possibile”) ma in numero limitato.

Figura 2. Costruzione di facciata rinascimentale con la sezione aurea.

Figura 3. Edificio interamente realizzato in elementi di bambù (Venezuela).



Questa definizione di progetto come operazione di negoziazione tra vincoli e risorse è uno dei canovacci sui quali si intesse molto del dibattito anche contemporaneo, non soltanto in architettura, ma in molti altri ambiti che coinvolgono la creatività. L'altro aspetto strutturante il progetto è il suo essere un sistema di relazioni tra parti, che ogni progettista è chiamato a conoscere, controllare e migliorare. E in questo senso si apre qui una terza considerazione, apparentemente laterale, ma che in realtà alcuni studiosi osservano essere centrale: il comportamento degli elementi del “sistema progetto” hanno un comportamento “complesso” molto più facilmente interpretabili secondo il paradigma della complessità³. L'operazione di progetto nasce sulla scorta di analisi di risorse e vincoli, dove il processo creativo deve permettere l'identificazione di un nuovo assetto di equilibri: dove alcuni vincoli vengono trasformati in risorse, alcune risorse vengono consumate, alcuni fenomeni “emergenti” di interazione tra componenti del progetto si inseriscono nel flusso decisionale del progettista che li domina e ne trae vantaggio⁴.

Il tema del rapporto tra vincoli e risorse è nodale anche nella progettazione parametrica.

Nel progetto architettonico (come negli altri ambiti) si possono facilmente elencare le classi tipiche di risorse: economiche, umane, tecniche e tecnologiche, politiche, ambientali. Ma ogni progettista sa bene che tali classi possono allo stesso modo rappresentare i vincoli. Vincoli e risorse sono esattamente la stessa cosa, vettori a cui il progettista – nel suo processo creativo – attribuisce segno e verso. È interessante osservare quanto tale processo sia sovra-storico e sovra-locale, a sottolineare come l'uomo sia un essere creativo per definizione.

In ambito architettonico si possono fare alcuni esempi, anche

in questo caso non esaustivi ma utili per orientare la comprensione. Durante il Rinascimento, l'architettura si rende protagonista della rivoluzione umanista attraverso l'uso strumentale della matematica e della geometria come sistema per produrre forme. Tale motivazione scaturisce da un impianto culturale e concettuale molto profondo, che vede nel riferimento alla perfezione del mondo naturale creato da Dio, il bacino da cui attingere nella ricerca della perfezione. Maneggiando con grande abilità uno strumento analitico descrittivo quale la geometria, Leonardo riesce a descrivere il corpo umano⁵. Si apre una stagione di eccellenza culturale che pone alla base dei suoi processi produttivi la matematica: non una novità nella storia del genere umano, ma indubbiamente un grande esempio di tentativo di creazione di leggi formali universali. La sezione aurea è una delle leggi che vengono utilizzate nel progetto di architettura rinascimentale.

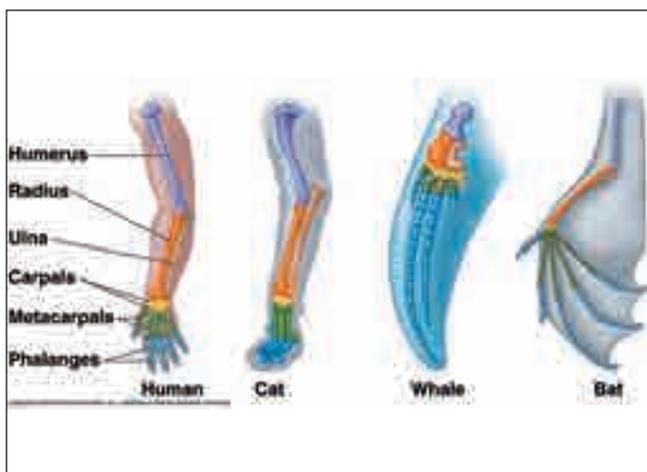
Tornando nel vivo della trattazione, la sezione aurea è un vincolo autoimposto (non proviene da circostanze ambientali), ma con il quale i grandi artisti rinascimentali dimostrano di poter creare capolavori, una risorse nelle loro mani⁶.

Altro ambito ricchissimo di esempi interessanti è l'architettura vernacolare, dove non tanto la forma, ma i limiti tecnologici legati ai vincoli economici e di reperibilità ambientale, intersecata con i vincoli costruttivi imposti dall'economia costruttiva "della fatica", fatta di mano d'opera non specializzata e non pagata ma ingaggiata sulla base del baratto, crea il terreno fertile per riflessioni profonde sul rapporto tra vincoli, risorse e complessità⁷.

Nelle realizzazioni in terra cruda del deserto libico egiziano, la profondità di manica degli edifici è legata alla lunghezza utile del legname di palma, che per caratteristiche meccaniche offre portanza con luci non superiori a 3,50 metri. Distanza minima, che ha influito anche sulla profondità delle strade, riducendola. Ma con grande beneficio nel raffrescamento naturale, inducendo effetti Venturi urbani nei villaggi. E aumentando il livello difensivo degli insediamenti.

E al vertice del paradigma del vincolo si osservino le situazioni ibride, dove la scarsità di risorse tecnologiche e ambientali viene amplificata sino a trasformarsi in vincoli auto imposti e elemento

Figura 4. Analisi anatomica comparativa tra gli arti superiori di alcuni mammiferi.



centrale del progetto⁸.

Vincoli auto imposti o contestuali, esplicitati secondo codici o formule o implicitamente accolti per tacito accordo o semplice senso pratico: l'architettura è un fatto di regole, da disattendere o rispettare.

3. Ali, pinne e tipologie

Osservata l'importanza strutturante delle regole, come fenomeno di manifestazione dei vincoli e delle risorse, è necessario considerare un ultimo caposaldo della cultura del progetto: morfologia e tipologia. Rimandando ad altra sede l'approfondimento sistematizzato ed organico sui due concetti, quello che interessa è avvicinarne gli orizzonti di significato. La morfologia di un oggetto è la descrizione di tale oggetto secondo la lettura della sua forma, della relazione formale tra le parti, le proporzioni, le regole che hanno stabilito i rapporti tra le parti, i significati simbolico-culturali che tale forme sottendono, i rapporti tra funzione e forma.

La tipologia è un terreno molto più incerto. Lo studio tipologico si concentra sulla evidenziazione di ricorrenze, invarianti, strutture organizzative, al netto degli aspetti morfologici, e con un interesse non legato alla visibilità dell'oggetto, ma alla sua struttura profonda. La descrizione e la classificazione tipologica sono dipendenti dal contesto di riferimento e dall'orizzonte dei significati entro cui si opera. A seconda del paradigma interpretativo applicato, due oggetti possono appartenere o meno allo stesso tipo. Quindi esiti formali anche molto differenti fra loro possono essere stati manifestazioni di condizioni tipologiche coerenti: viceversa oggetti decisamente confrontabili possono essere prodotti di condizioni di pertinenza non confrontabili.

Come esempio interessante si osservi lo studio dell'anatomia comparata degli arti superiori di alcuni mammiferi. In tale sequenza di immagini si osserva chiaramente una abissale differenza morfologica tra gli arti presi in esame: non soltanto per dimensione, forma, proporzione, ma addirittura per la

Figura 5. Esempio di progetto di muratura "parametrica" con Grasshopper per Rhinoceros.



A&RT

funzione che svolgono. Ala, pinna, zampa, e braccio non hanno nulla da condividere se non la loro appartenenza alla parte superiore del corpo di un mammifero. Ma proprio lo studio comparativo ha messo in luce le ricorrenze e le invarianti. Gli arti sono composti da una struttura gerarchica di elementi, con una moltiplicazione e miniaturizzazione degli elementi, delle distanze e dei giunti e una specializzazione funzionale più accentuata verso l'estremità. Procedendo dall'esterno verso il tronco si osserva la presenza di una coppia di elementi, leggeri, con una migliorata resistenza alle torsioni: sino a raggiungere il tronco, dove gli elementi devono sopportare lo sforzo di incastro massimo.

Non è interessante al fine di questa trattazione se questo sia frutto di un processo di selezione darwiniano o di altre teorie. Quello che interessa è proprio la relazione tra gli aspetti morfologici e tipologici degli elementi.

Regole derivanti da analisi di risorse e limiti interni o contestuali, capacità creativa di esplicitazione dei vincoli, riconoscibilità delle strutture profonde di elementi non influenzate dagli esiti formali: i capisaldi teorici della progettazione parametrica⁹.

4. Bit, parametri e case

Se nell'approccio non parametrico al progetto, il processo determina ogni elemento sulla base di decisioni tendenzialmente autonome, il significato primo della parametricità è proprio il fatto che si progettano delle regole e non delle forme. Come già visto in precedenza, progettare con un parametro significa aver a che fare con una legge che varia gli esiti al variare del parametro. Così come un numero in una funzione descrive ad esempio una funzione, una serie di vincoli (formali tecnici o altro) definiscono un elemento, una colonna ad esempio. Ma se immaginiamo di possedere uno strumento con cui definire e scrivere le funzioni che generano famiglie di colonne, attraverso la variazione dei parametri di tali funzioni, si potranno ottenere come esiti elementi anche molto differenti fra loro, tutti generati dalla stessa funzione parametrica. In questo tipo di approccio è evidente quanto sia importante lo studio e la definizione delle relazioni tra le parti, oltre che una visione generale del progetto e la capacità di formalizzazione dei problemi e dei vincoli; molto più importante della capacità di previsualizzazione dell'esito formale finale.

Nella progettazione di edifici i parametri possono appartenere a molte classi differenti. A ben vedere, una grande spinta in questa direzione è stata fornita proprio dalla diffusione digitale: non per gli strumenti e le tecnologie di per sé, ma perché in prima istanza ha costretto a tradurre in numeri qualunque dato. Elaborare con un computer implica tradurre qualunque contenuto in stringhe numeriche. Un grande sforzo, che alcuni detrattori del digitale ancora sostengono essere stato più impoverente che proficuo: ma riportare qualunque evento ad un linguaggio unificato, significa anche costruire le basi per lo scambio

e l'intersezione dei dati stessi.

Così oggi si traducono suoni, colori, movimenti, forme, fenomeni ambientali, sociali, economici in numeri. Ed opportunamente manipolato, ognuno di questi elementi può diventare un parametro.

Numeri di elementi strutturali, costi di produzione, comportamento di elementi, grandezze estensive come peso volume superficie, nel mondo della progettazione ordinaria il numero dei parametri in causa è già elevatissimo.

Per provare a fornire un primo esempio di progettazione parametrica, senza l'uso di strumenti digitali, si immagini una muratura di mattoni pieni. Gli elementi che la compongono sono i mattoni (e la malta). Esistono regole che normano il rapporto tra lo spessore della muratura e la posa dei mattoni (a meno di non tagliarli uno ad uno); regole nel rapporto tra lo spessore e l'altezza; regole tra la mutua posizione tra un mattone e l'altro, e di conseguenza anche regole sull'andamento del tracciato e del possibile raggio di curvatura orizzontale e verticale: regole sulla massima inclinazione possibile rispetto alla verticale, legata a regole della statica e alle tensioni ammissibili dei materiali; regole infine sulla contiguità o meno tra i mattoni, legata alla forza di gravità. Stabilite o riconosciute tutte le regole si progetta un muro, applicandole tutte implicitamente o mettendone in discussione alcune e creando variazioni. E chiunque abbia una formazione tecnica in edilizia reagisce a questa serie di regole immaginandosi l'esito al variare di uno o più parametri. Ma in questa serie di regole non è stata menzionata la mutua rotazione orizzontale tra gli elementi, che in realtà potrebbe variare, creando una superficie non piana ma continua, fatta di elementi non complanari su un asse.

L'esito è che sono state esplicitate le regole per il progetto di una muratura in mattoni; variando uno o più parametri si possono ottenere forme molto differenti. Il DNA, il codice generativo del muro è sempre il medesimo; il progettista agisce su una selezione di parametri e ne verifica gli esiti.

Si immagini di trasferire queste possibilità in un software. Tale software ha come piattaforma un modellatore solido o di superfici. Il programma potrebbe avere una libreria di parametri già implementati (e anche non esplicitati) o fornire all'utente la possibilità di scrivere nuove regole con nuovi parametri. È immediata la vertigine delle possibilità offerte rispetto all'esempio della muratura in mattoni.

Un altro esempio parametrico di natura schiettamente classica è lo studio e il progetto di una colonna. Elementi semplici e determinati per posizione e sequenza, con l'aggiunta di vincoli dimensionali di altezza: il resto della progettazione dei rapporti tra gli elementi, delle dimensioni dei singoli in relazioni agli altri, con studi sugli effetti di percezione dell'oggetto a partire da tali proporzioni. Gli ordini sono anche sequenze parametriche di elementi dove si sono fissati alcuni parametri, rendendo codificata la sequenza¹⁰.

Un primo effetto nell'applicazione di tali principi nei modellatori CAD è sotto gli occhi di chiunque. In un CAD tradizionale,

sistema di rappresentazione percepita univoca, dove ciò che si vede corrisponde a ciò che si vuole far vedere, ed è orientata all'utente, spostando un elemento dell'edificio il resto delle parti non varia. Muovere un muro non implica muovere le finestre. Non esistono relazioni tra le parti, ovvero non sono state considerate regole di dipendenza tra i componenti, che potrebbero essere definiti come parametri. Il sistema mostra un oggetto che appare come tale ma non lo è nei suoi comportamenti relazionali. I CAD parametrici hanno librerie di oggetti che contengono il loro DNA: una finestra può variare per forma e dimensione nel modello, ma essendo finestra ha una relazione con l'elemento muro.

CAD più evoluti permettono di manipolare alcuni parametri, e possono anche accogliere vincoli non soltanto geometrici, ma anche strutturali o tecnologici. E procedendo nella scala evolutiva, si trovano sistemi in grado di definire un database di costi per ogni singolo componente (o unità di grandezza) e procedere con una analisi dei costi, potenziando ulteriormente il sistema si possono anche imporre di limiti di costo su certe parti, ottenendo delle segnalazioni nei casi di incoerenza con i limiti prefissati.

Si riesce ad intuire quanto tali sistemi "constraint based" possano mutare radicalmente il modo di progettare, non principalmente

per la rapidità o l'efficienza, ma proprio perché portano il progettista a considerare ed esplicitare le regole oltre che le forme, appare chiaro quanto un sistema basato sulla possibilità di scrivere regole diventi il generatore di un nuovo modo di pensare il progetto.

Nel caso dei sistemi "rule based" si definiscono proprio le regole di generazione della forma a partire da considerazioni progettuali a monte, parametriche appunto. Tali regole – come visto – non necessariamente debbono appartenere alla geometria. L'esempio della muratura in mattoni illustrato precedentemente appartiene ad un sistema "rule based" tecnologico geometrico, ma ad esso si potrebbero associare valutazioni sul passaggio dell'aria tra i fori, sul costo e così via.

I software per la progettazione parametrica sono sostanzialmente differenti da quelli per la rappresentazione parametrica. Nei primi il progettista determina il set di regole parametriche, gli elementi ai quali applicarle, gli intervalli di applicazione. Ottiene risultati che possono essere sorprendenti o attesi, ne seleziona gli esiti e procede nel processo progettuale. Nei secondi l'utente è escluso dalla manipolazione delle regole, che qualcuno ha esplicitato per lui sulla base delle logiche costruttive e fisiche: al progettista viene offerta la possibilità di manipolare un modello virtuale a

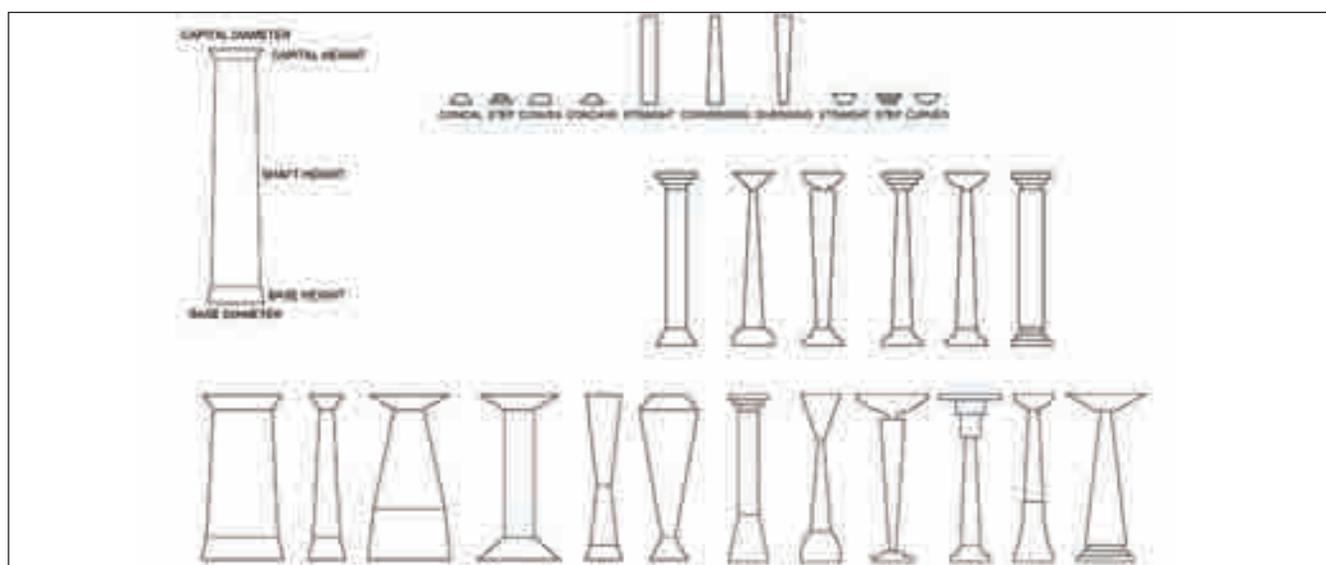


Figura 6. Studio parametrico degli elementi e le possibilità per il tipo "colonna".

Figura 7. CAD parametrici: gli oggetti sono legati da relazioni logiche.



A&RT

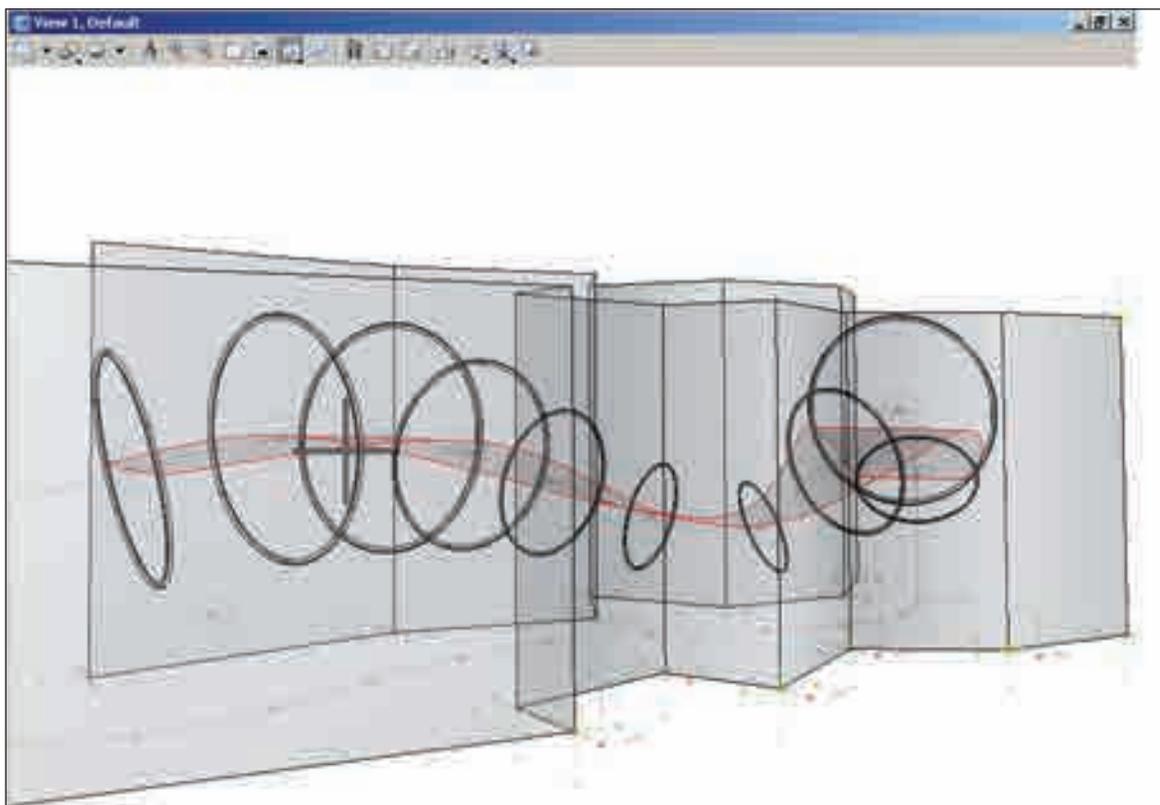
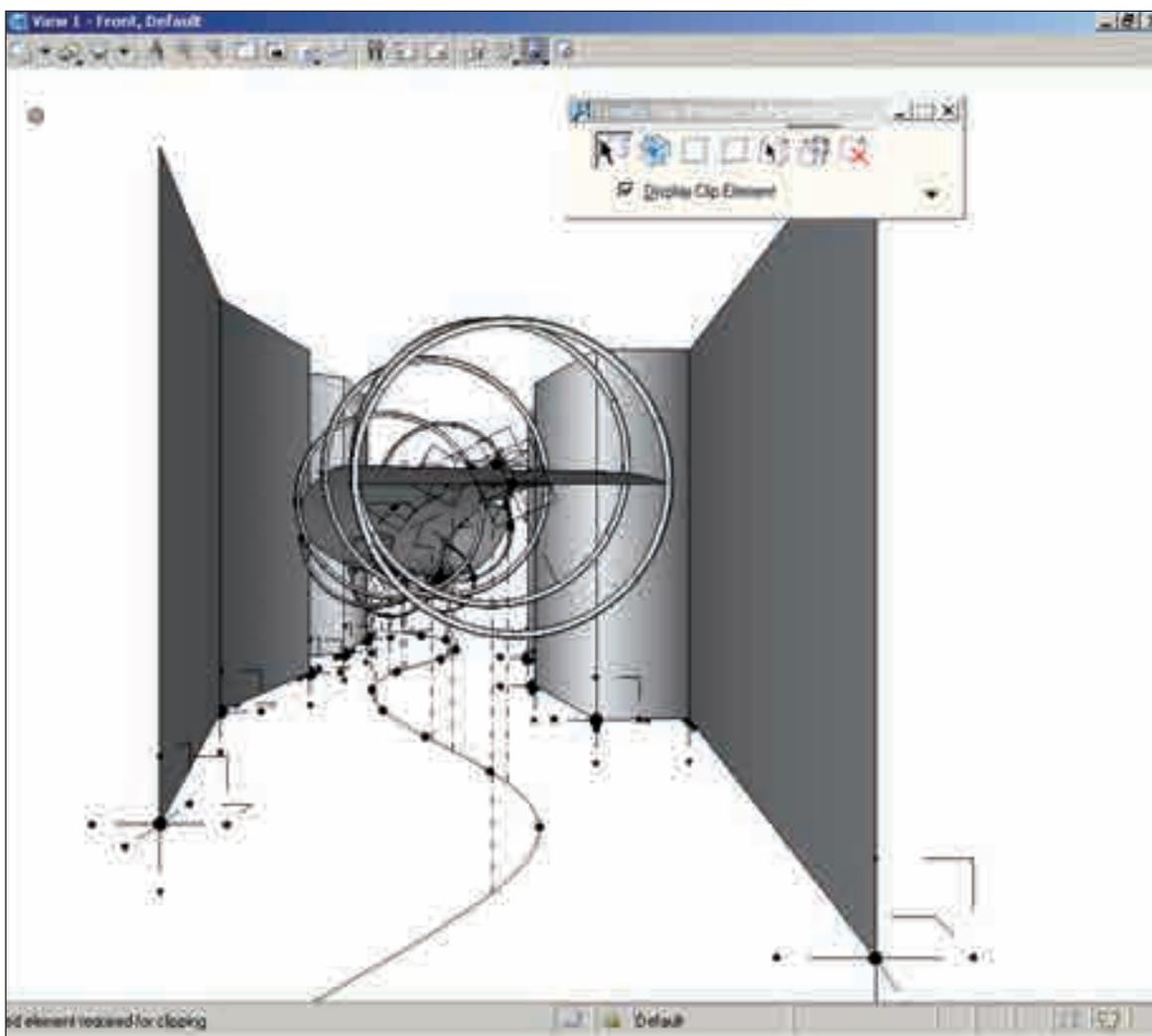


Figure 8a, 8b. Progetto di passerella parametrica in contesto urbano con Generative Components.



comportamento reale, con il vantaggio ovvio che ne deriva. Considerando, come esposto precedentemente, che il concetto stesso di parametro è imprescindibile dal progetto, entrambi i sistemi permettono un approccio parametrico al progetto. Ma nella sua forma più ampia e potente i sistemi “rule based” aperti sono gli unici a consentire una autentica progettazione parametrica.

Si pensi alla necessità di elaborare un progetto in un contesto urbano. Tali condizioni al contorno possono essere comunque interpretate secondo relazioni logiche o dimensionamenti. Ad esempio la distanza delle facciate dal filo di fabbricazione o tra due fronti, l'altezza degli edifici, il rapporto tra la sezione stradale e il numero dei piani. Nell'ipotesi di dover progettare una passerella pedonale sopraelevata in tale situazione, si potranno considerare come elementi di influenza del progetto anche quei parametri, che hanno dimensione e forme nella realtà, che possono essere elaborati dal computer, e che sono proprio gli elementi di contesto dai quali normalmente prende le mosse un progetto. Ne può risultare un progetto che stabilisce altezze, sezioni, inclinazioni o trasparenze in relazione alla morfologia urbana in ogni singolo punto. Non molto differente dal processo progettuale che avrebbe intrapreso la maggior parte dei progettisti.

I sistemi più all'avanguardia offrono poi la possibilità di creare “software” parametrico. Al punto che si inizia ad intravedere negli studi di progettazione più vicini a questo ambito, la progettazione e realizzazione di librerie di regole, che possono essere utilizzate e modificate secondo necessità progettuali.

Conclusioni

Una prima considerazione che proviene dall'analisi dei sistemi per la progettazione parametrica è dunque che la progettazione è parametrica al di là degli strumenti che si utilizzano, siano essi tradizionali o digitali. Una condizione sovrastorica che ha caratterizzato – e continua a farlo – le decisioni in ogni percorso progettuale.

Definendo il progetto come esito creativo nella ricerca di nuovi equilibri tra risorse e vincoli, in cui le parti agiscono tra di loro come subsistemi a comportamento complesso, si può affermare che i programmi e le procedure per la progettazione parametrica non smentiscono o minimizzano i caratteri epistemici del progetto: anzi in certa misura ne esaltano alcuni aspetti profondi, riportando il progettista verso la dimensione “riflessiva”.

Proprio la necessità di esplicitazione degli assunti, delle regole e dei vincoli produce una necessità di trasparenza e di chiarezza che contribuisce a smantellare l'apparato romantico mistificatore che propone l'architettura come l'esito di processi tutti interni, magici, di talento puro, non misurabili e confrontabili. L'approccio parametrico ha una ampia gradualità nel modo in cui può essere contemplata nel processo progettuale; inoltre si possono incontrare differenti terminologie, spesso

legate a obiettivi specifici o differenti modi di interpretare il percorso o l'obiettivo. Così, ad esempio, rientrano nei processi parametrici i *rule based*, *constraint based*, *generative design*, *algorithmic design*, *performative design*.

La possibilità di scrivere sequenze di veri e propri codici genetici per elementi di architettura offre nuovi scenari di ottimizzazione e di replicabilità, non più basati sulla ripetizione linguistico formale, ma sulla struttura profonda e tipologica. Un grande arricchimento che si smarca dai “repertori” e che si concentra sui processi e sulle logiche.

Grazie ai sistemi di prototipazione rapida e ancor più ai sistemi di fabbricazione “file to object” su media e grande scala, oggi si sancisce l'inversione di tendenza rispetto alla supremazia della cultura dello standard e della modularità. Così come l'ingegnerizzazione e l'automatizzazione dei processi di produzione industriale ha accantonato in una nicchia la produzione artigianale, proprio i sistemi robotizzati, uniti ai sistemi parametrici, riportano verso la possibilità di progettare e realizzare elementi anche con grande variabilità, mantenendo inalterati i costi.

Una nuova deriva possibile anche nel mondo professionale e della formazione è uno degli aspetti non secondari che tali sistemi introducono, che vedono sempre di più la necessità di affiancare a professionisti e corsi di studio tradizionali, figure in grado non soltanto di interagire con questi sistemi, ma soprattutto di ritornare a pensare l'architettura e lo spazio a partire da un approccio strutturalista e non formale. E come Leonardo descrisse la natura attraverso la matematica, mutuandone le regole per riapplicarle alla scienza e all'arte, con l'obiettivo autentico di riprodurre la perfezione di Dio, oggi anche i sistemi parametrici permettono di descrivere la natura, secondo le leggi generative; natura che la bio-mimetica studia in quanto immagine della perfetta sostenibilità, e che forse gli uomini oggi possono iniziare a comprendere per imitare.

Note

- ¹ Dal latino *projectus*, azione di gettare in avanti.
- ² Alcuni autori sottolineano quanto anche la dimensione etica sia una delle condizioni necessarie al progetto. P. Tosoni, *Il gioco paziente*, Celid, Torino 1992.
- ³ E. De Bono, *Creatività e pensiero laterale*, Rizzoli, Milano 2001.
- ⁴ A. De Toni, L. Comello, *Prede o ragni?*, Utet, Torino 2005.
- ⁵ P. Tosoni, *Il gioco paziente*, Celid, Torino 1992.
- ⁶ R. Wittkower, *Principi architettonici dell'eta dell'Umanesimo*, Einaudi, Torino 1988.
- ⁷ L. Dal Pozzolo, *Le condizioni per la forma*, Celid, Torino 1996.
- ⁸ Sull'argomento si veda ad esempio il lavoro di R. Queneau e del gruppo OuLiPo.
- ⁹ M. De Landa, *Mille anni di storia nonlineare: rocce, germi e parole*, Instar libri, Torino 2003.
- ¹⁰ J. Summerson, *Il linguaggio classico dell'architettura*, Einaudi, Torino 2000.

Il Building Information Modeling (BIM) e l'interoperabilità delle informazioni

Building Information Modeling (BIM) and data interoperability

MASSIMILIANO LO TURCO, ANNA OSELLO

Massimiliano Lo Turco, ingegnere e architetto, dottore di ricerca, collaboratore presso il Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali, docente a contratto presso la 1^a Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino. massimiliano.loturco@polito.it

Anna Osello, professore associato (SSD ICAR 17-Disegno) presso il Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali, Politecnico di Torino. anna.osello@polito.it

La progettazione edilizia basata sulla metodologia BIM è destinata a rivoluzionare un processo progettuale tradizionalmente costituito da un'estrema frammentazione delle informazioni di progetto: si palesa dunque la necessità di condividere l'archivio di dati IPDB (Integrated Project Database), con altre piattaforme, consentendo l'estrazione di informazioni – non soltanto grafiche – necessarie alla descrizione del manufatto edilizio. Ogni passaggio dati implica, inevitabilmente, duplicazione delle informazioni e conseguente rischio di errori. Attraverso diverse specificità applicative tipiche della ricerca, dell'ambito professionale e delle conseguenti ricadute in ambito didattico, si intendono illustrare delle proposte operative opportunamente selezionate per porre in relazione diverse competenze attraverso l'utilizzo di sistemi informativi interoperabili.

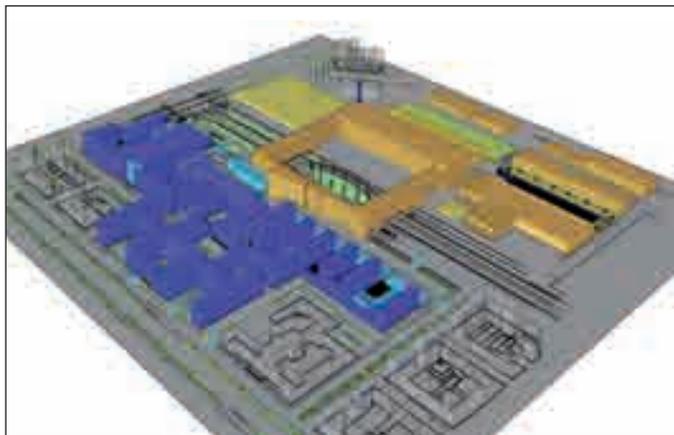
Nowadays BIM methodology is designed to drastically change the whole design process, which traditionally shows an extreme data fragmentation. Such methodology aims to use IPDB (Integrated Database Project) to share data within different platforms, allowing the extraction of all kind of building information.

Each information exchange involves, inevitably, duplication of data, risk of errors and then loss of time. Through different experiences (researches, professional activities and resulting didactic effects) the aim of the paper is to show some of the most interesting operative proposals in order to relate different fields by the use of interoperable data systems.

Introduzione

In un momento in cui la pratica professionale richiede sempre più specifiche competenze e tempistiche estremamente serrate, si palesa la tendenza a orientare le innumerevoli tecnologie software verso un loro utilizzo più consapevole e strutturato nella continua ricerca di strategie procedurali per l'utilizzo di piattaforme condivise.

Figure 1a, 1b. Masterplan, modellato per masse, della sede di Corso Duca degli Abruzzi e della Cittadella Politecnica e relativi studi solari. Autori: M. Vozzola e P.Piumatti (2007 e 2011).



Il settore AEC/FM¹ è per sua natura frammentato perché caratterizzato da diverse figure professionali con funzioni tra loro complementari quali progettisti, impresari edili, fornitori di materiali e funzionari per il controllo.

Il processo di informatizzazione all'interno del settore non è omogeneamente distribuito: sebbene molto diffuso (anche se non sempre ottimizzato) tra i progettisti, assolve funzioni eminentemente contabili nelle imprese edili, mentre è poco integrato con gli Enti Pubblici di controllo. L'interscambio dei dati avviene infatti mediante l'utilizzo di formati consolidatisi nel tempo (doc, pdf, dwg, dxf per citarne alcuni) scarsamente interfacciabili tra di loro. L'informazione risulta così essere eterogenea e a volte insufficiente se non addirittura conflittuale o errata, ripetuta e non condivisa, soggetta a interpretazione e non adeguatamente dettagliata o verificata.

L'opportunità offerta dalla costante innovazione dei sistemi ICT consentirebbe una indubbia ottimizzazione dell'intero processo basato su strumenti tra loro interoperabili se questi fossero davvero efficienti e utilizzati in maniera ottimale. Lo stato dell'arte prevede, nel caso in cui si voglia fare dialogare software legati a competenze specifiche, la digitazione manuale di gran parte delle informazioni provenienti da diversi modelli, pertanto non dinamicamente condivisibili.

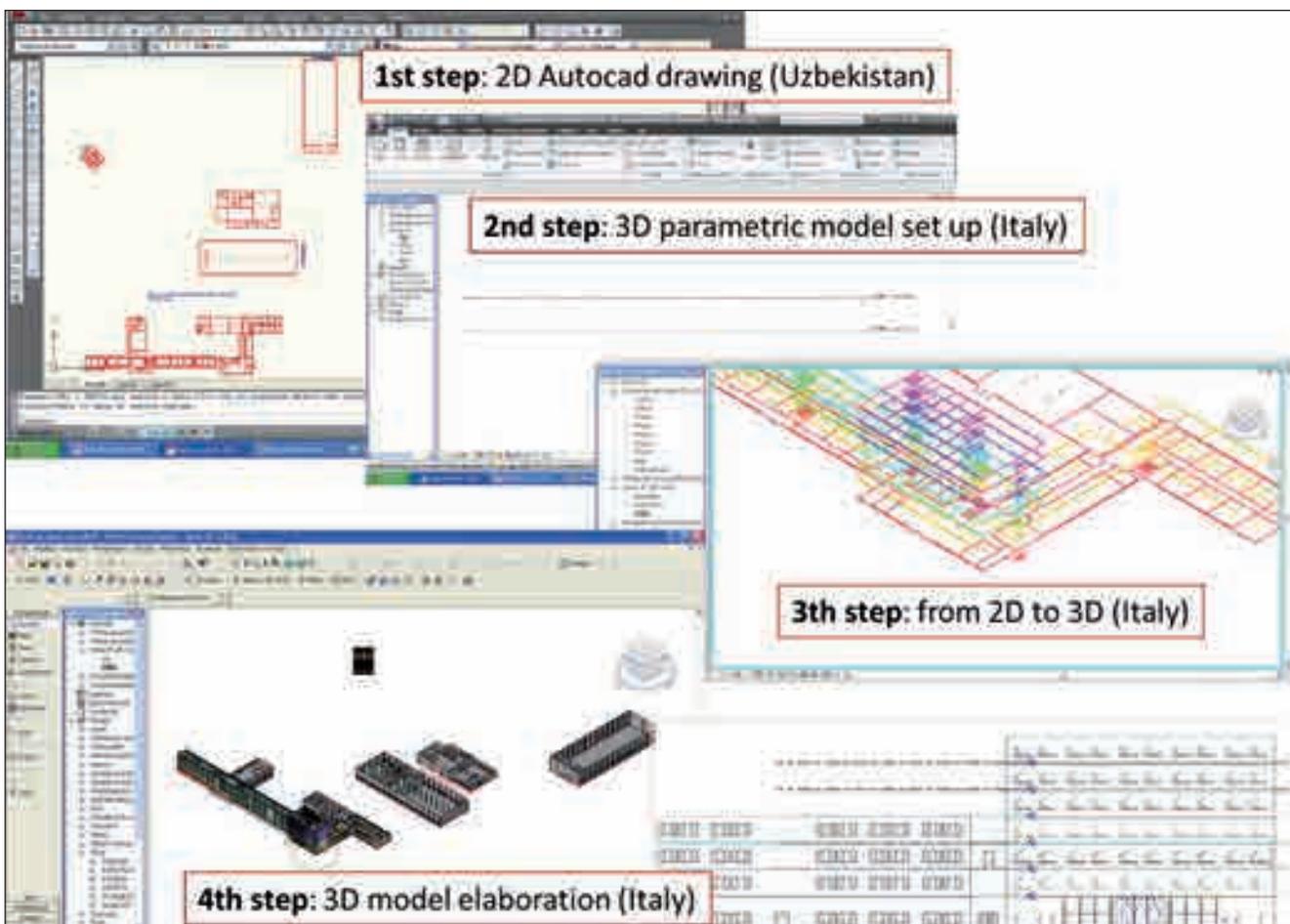
È compito specifico dell'università la sperimentazione di nuove tecnologie, del loro utilizzo avanzato ed ottimizzato nonché la

formazione di studenti che possono essere immessi nel mondo del lavoro con una professionalizzazione innovativa e propositiva.

1. Nuovi approcci metodologici

Recentemente nel lessico tecnico si sente sempre più spesso parlare di Building Information Modelling o semplicemente di BIM. Questo acronimo individua un processo di creazione e gestione del modello completo di informazioni di un edificio in cui tutti i dati, sotto forma grafica o numerica, strutturati organicamente in un database relazionale, possano riferirsi all'intero ciclo di vita del manufatto edilizio, dalla fase progettuale a quella di uso e manutenzione, passando ovviamente attraverso la fase di realizzazione. Di conseguenza gli elementi presenti all'interno degli applicativi BIM non si limitano al disegno di semplici primitive grafiche, ma consentono di progettare utilizzando i componenti tecnici dell'edificio corredando la veste grafica di informazioni relative alle diverse competenze disciplinari. I vantaggi di un simile approccio metodologico sono evidenti: basti pensare che dal modello virtuale dell'edificio, redatto direttamente in tre dimensioni, è possibile estrarre rapidamente piante, prospetti e sezioni con la semplice individuazione di piani di taglio orizzontali e verticali. Inoltre, i motori di modifica parametrica contestuale diminuiscono significativamente il numero di errori grossolani: le modifiche apportate in una qualsiasi delle viste del modello tridimensionale si riflettono nell'aggiornamento di tutte le viste anche non

Figura 2. Masterplan modellato con oggetti generici di tipo parametrico a partire da file CAD bidimensionali della sede della Turin Politecnica Universitari di Tashkent in Uzbekistan. Autore: A.Osello (2009).



A&RT

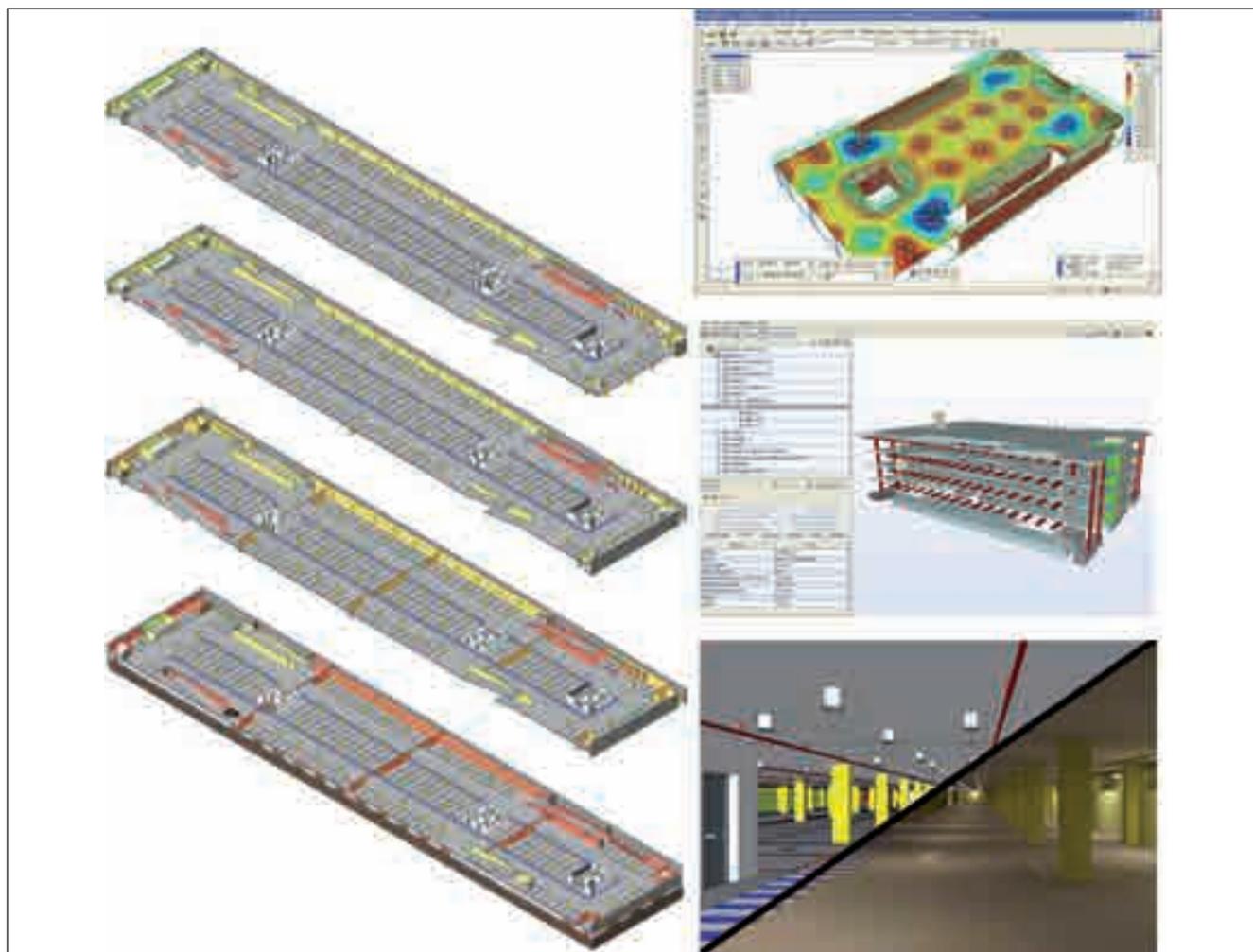
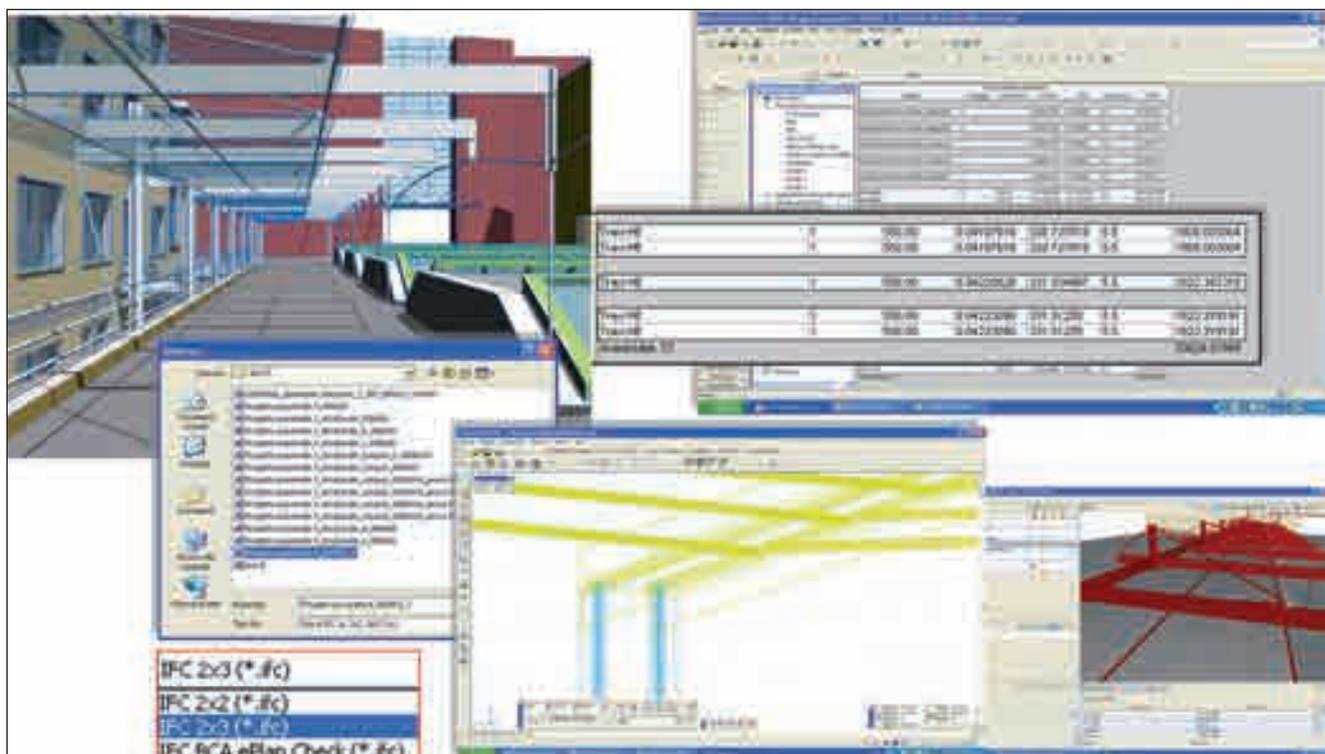


Figura 3. Esploso assometrico, verifiche strutturali e illuminotecniche del modello parametrico realizzato per il progetto preliminare del parcheggio interrato pluripiano presso la Cittadella Politecnica. Autori: G. Cangialosi e M. Lo Turco (2008).

Figura 4. Progettazione architettonica e strutturale di una passerella in acciaio e vetro con scambio di dati in formato IFC 2x3 e con verifica dei costi sin dalla fase preliminare del lavoro. Autore: G. Cangialosi (2008).



attive. Tuttavia la rapida estrazione automatica di viste mongiane dal modello spaziale, la correlazione tra abachi e computi metrici collegati ai disegni vettoriali e l'enorme vantaggio di avere disegni costantemente coordinati non sono però gli unici progressi tecnologici introdotti dai software parametrici. Le librerie degli elementi che compongono l'edificio virtuale possono ovviamente essere implementate e personalizzate secondo le singole esigenze progettuali, in funzione della scala di rappresentazione scelta. In questo caso al passaggio di scala non corrisponde solo un ingrandimento o una riduzione delle dimensioni dell'elaborato grafico bensì, fatto ben più importante, un livello informativo più o meno dettagliato, così da essere gestito automaticamente e in modo

corretto. Unico vincolo: avere precedentemente fissato le relazioni di strutturazione dell'immagine. In tal senso, la correttezza e i contenuti del linguaggio grafico necessari per garantire la qualità del progetto architettonico possono essere "automatizzati" poiché il linguaggio progettuale si basa principalmente sul rispetto di convenzioni grafiche spesso definite dalle normative.

Lo scambio di informazioni è condizione necessaria ma non sufficiente per ottenere uno scambio di conoscenza tra i diversi attori del processo edilizio: l'informazione, per divenire conoscenza, necessita del momento interpretativo. Sono dunque richiesti strumenti che diano la possibilità di accedere in maniera strutturata alle informazioni di progetto,

Descrizione	Area (mq)	Volume (m3)	Quantità (kg/m3)	Peso (kg)	Peso (t)								
Vetro	1000	0	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500
Alluminio	1000	0	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500
Cassa	1000	0	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500
Serramentazione	1000	0	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500	2500000	2500

Figura 5. Risoluzione dei criteri relativi al calcolo dei materiali derivanti da fonti rinnovabili/recuperabili mediante una vista del modello, ossia un abaco delle quantità delle componenti di involucro. Autore: M. Lo Turco (2010).

Figura 6. Modellazione BIM e verifica della interoperabilità dei dati in formato gbXML applicata al caso studio del palazzo San Carlo. Autore: A. Di Paolo.



A&RT

offrendo ai responsabili le modalità intuitive e personalizzabili per la gestione e la modifica dei dati, comprendendone il significato operativo.

Per migliorare la collaborazione tra i diversi professionisti si rileva dunque il bisogno di poter usufruire di servizi basati su modelli di prodotto/processo orientati al progettista, cioè di agenti software che, accedendo ai modelli attualmente impliciti presenti nei sistemi di calcolo, lo supportino con una conoscenza aggiuntiva, formalizzata in maniera esplicita per l'uso progettuale.

2. Tra ricerca applicata e “attività professionale”

L'esito di quanto finora teorizzato viene di seguito analizzato attraverso la descrizione di casi studio che, simulando una ipotetica “attività professionale”, rappresentano una testimonianza del lavoro svolto, costituendo inoltre l'espedito narrativo necessario a delineare i progressi metodologici e operativi compiuti sul tema del BIM e della interoperabilità dal gruppo di ricerca² a partire dal 2005. L'intenzione è di tracciare il passaggio dai tradizionali software di disegno assistito al calcolatore verso i nuovi strumenti di disegno parametrico, analizzando le migliorie che questi strumenti implicano non solo a livello architettonico, ma in un'accezione più ampia del termine dell'intero processo progettuale, con particolare attenzione al tema della sostenibilità. Le diverse elaborazioni condotte possono quindi distinguersi secondo un differente livello di efficacia, o per meglio dire un diverso grado di maturità³.

Nelle prime esperienze lo strumento parametrico è utilizzato per una modellazione speditiva riferita alla documentazione di uno stato di fatto complesso e alle sue trasformazioni storiche (come ad esempio il campus del Politecnico di Torino con l'ampliamento della Cittadella Politecnica sull'area della Spina) o per un immediato confronto tra soluzioni progettuali differenti (come ad esempio il progetto per un nuovo campus in Uzbekistan), limitandone l'utilizzo al semplice ruolo di modellatore tridimensionale (con diversi gradi di dettaglio, dalle semplici masse agli oggetti parametrici). Con il passare del tempo, la dimestichezza nell'impiego dei diversi software specialistici in maniera interoperabile ha consentito invece la sperimentazione e la messa a punto di un sistema ottimizzato e standardizzato di condivisione e scambio dei dati.

Il passo successivo consiste dunque nella ricerca e nella sperimentazione di interoperabilità dei dati provenienti da diverse piattaforme, simulando la volontà di condividere informazioni tra i diversi attori che partecipano al processo progettuale. Interessanti test a riguardo sono stati condotti per la progettazione preliminare del parcheggio interrato presso la Cittadella Politecnica, in cui si è verificata la condivisione delle informazioni tra architettura e struttura utilizzando il formato IFC (Industry Foundation Classes⁴), ossia un formato libero che permette di tradurre le informazioni di competenza dei diversi applicativi in un linguaggio universalmente riconosciuto. Il modello parametrico inizialmente impiegato nella fase progettuale a livello preliminare, è stato poi utilizzato nelle successive

fasi di controllo alla progettazione, in quanto depositario di informazioni (in questo caso numeriche) atte ad agevolare immediate verifiche dei computi metrici redatte dagli affidatari della progettazione definitiva ed esecutiva.

Poiché le tematiche relative a questo specifico settore di indagine coinvolgono competenze e settori scientifici e professionalità diverse in favore di una multidisciplinarietà sempre più diffusa, sono stati sviluppati nel corso degli anni molteplici campi di indagine sempre strettamente correlati tra loro nell'ottica dell'attività professionale utilizzando sistemi integrati.

Un primo filone di ricerca applicata riguarda il concetto di interoperabilità tra software per la modellazione parametrica dell'architettura e la verifica strutturale delle scelte progettuali per l'ottimizzazione dei costi sin dalla fase preliminare del progetto. Un caso studio particolarmente significativo è rappresentato dal progetto di una passerella coperta da realizzare come elemento in acciaio e vetro per la connessione tra la sede storica di Corso Duca degli Abruzzi e la nuova manica d'approdo della Cittadella Politecnica. In questo caso, una volta impostata la progettazione architettonica della passerella e collegati gli elementi costruttivi al Prezziario delle Opere Pubbliche, il computo automatico desumibile dagli abachi del software parametrico ha messo in evidenza un costo eccessivo della struttura. L'importazione del modello architettonico in un software di calcolo strutturale ha consentito una revisione del progetto in modo tale da ottimizzare gli elementi in acciaio e ridurne in maniera significativa il costo complessivo.

Un secondo filone di ricerca applicata posto in essere indaga le possibili relazioni tra la progettazione edilizia, rappresentata e gestita nella sua totalità in ambiente BIM, ed uno strumento di valutazione per la stima del livello di sostenibilità ambientale dei manufatti⁵. In questo caso particolare l'obiettivo è quello di agevolare il lavoro di un professionista che intende condurre una progettazione o una gestione volta al miglioramento dei caratteri di compatibilità ambientale dell'edificio, facendo particolare riferimento a quei criteri che presentano maggiori affinità con gli applicativi parametrici⁶.

Sempre in materia di sostenibilità energetica sono state avviate alcune ricerche aventi come ambito applicativo il tessuto storico torinese. A tale riguardo, l'isolato San Carlo progettato da Marcello Piacentini nell'ambito del risanamento di via Roma negli anni Trenta del Novecento è ora oggetto di una profonda riconversione caratterizzata da un significativo miglioramento in termini di efficienza energetica, nel rispetto della tradizione architettonica tipica del suo tempo. Il lavoro di modellazione è stato impostato a partire dalla suddivisione in workset specifici: architettonico, strutturale e impiantistico. Ogni dato è stato interpretato come una parte del tutto e, nella tradizione della filosofia BIM, ciò ha consentito una modellazione parametrica dettagliata caratterizzata funzionale ad una verifica tridimensionale di tutti i dati. I vantaggi derivanti da questo tipo di approccio sono evidenti, soprattutto se confrontati con la metodologia di progettazione tradizionale che spesso vede i diversi specialisti lavorare sui propri disegni/modelli, periodicamente confrontati, ma

che purtroppo non sempre consentono l'individuazione di eventuali interferenze o incongruenze derivanti dalle scelte progettuali operate in maniera indipendente.

Un altro filone di ricerca applicata si occupa di sperimentare soluzioni innovative nella gestione degli edifici, approfondendo la conoscenza di quelle attività che vanno sotto il nome di Facility Management come la gestione degli spazi, le attività di manutenzione, la gestione del verde, l'attività inventariale, la gestione amministrativa e fiscale, i layout di management, ecc. Il caso studio è ancora il Politecnico di Torino e contemporaneamente alla non semplice definizione degli standard relativi alla grande quantità di dati che deve essere rilevata, selezionata e opportunamente catalogata e/o rappresentata, sono verificate le possibilità di interoperabilità tra gli applicativi per il FM e quelli per la modellazione parametrica. Sebbene l'evoluzione tecnologica in entrambi i settori abbia raggiunto livelli molto elevati di complessità, lo scambio di informazioni in maniera interoperabile non ha ancora raggiunto una piena maturità e nella maggior parte dei casi è necessario estrapolare dei disegni bidimensionali dai modelli parametrici per potere effettivamente utilizzare tutti i dati inseriti.

La correlazione diretta tra informazioni grafiche, (intese come visualizzazioni di proiezioni cilindriche o coniche delle componenti edilizie) e tabellari (calcolo delle s.l.p., impostazione degli abachi degli infissi ma anche quantificazione dei materiali utilizzati) implica di per sé stessa un'efficace automazione di procedure di calcolo che nella pratica odierna vengono eseguite manualmente. L'ultimo caso studio proposto si riferisce al futuro Energy Center⁷, interessante operazione progettuale finanziata su fondi europei per la realizzazione di un intervento esemplare e innovativo dal punto di vista del risparmio energetico. L'analisi dei costi e dei tempi di realizzazione derivante dall'unione e dal confronto fra le differenti alternative ha permesso alla committenza di scegliere la soluzione migliore in ragione dei capitoli di finanziamento e delle tempistiche previste per l'acquisizione dei finanziamenti stessi. Solitamente in un progetto preliminare ci si limita ad una stima sommaria dei costi basata su valori parametrici espressi al metro quadro; in questo progetto invece l'edificio virtuale è stato modellato nel dettaglio in modo tale da contenere praticamente tutte le specifiche relative alle stratigrafie delle partizioni orizzontali e verticali interne ed esterne. Questo approccio risulta essere senz'altro più oneroso in termini di tempo, in quanto anticipa parte delle problematiche solitamente affrontate nelle fasi più avanzate della progettazione, ma consente di velocizzare notevolmente le procedure connesse nella stima dei costi: stima che viene quindi redatta in modo analitico, attraverso l'introduzione di opportuni parametri aggiunti al database relazionale. Il modello parametrico tridimensionale consente dunque non soltanto una pura quantificazione numerica degli elementi architettonici in progetto, ma anche operazioni connesse al cantiere quali ad esempio la quantificazione degli scavi ed il calcolo delle casserature necessarie per la realizzazione dell'opera. Riconoscendo nel concetto di

multidisciplinarietà uno dei valori più forti del BIM sono state pertanto ottimizzate le procedure per estrarre informazioni di carattere numerico relativo al computo metrico dei materiali impiegati nel progetto. Correlando velocemente le voci derivanti da opportune viste filtrate di abaco con i relativi prezzi unitari si ha una stima fedele dell'importo dei lavori per le due diverse soluzioni progettuali. Ed è in questa fase che occorre prendere le decisioni in merito alla soluzione progettuale da adottare: come si evince dalla curva di Macleamy⁸ i primi step progettuali richiedono ovviamente un impegno ed un'attenzione maggiore rispetto ai tradizionali approcci progettuali, ma l'impegno viene ampiamente ripagato nel prosieguo delle attività che costituiscono un processo edilizio di qualità e di più facile controllo.

Come si evince dai casi precedentemente illustrati, la proficua collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali del Politecnico di Torino, il Servizio Edilizia e l'area per l'Integrazione dei Processi e Sistemi Informativi del medesimo Ateneo, così come specifiche consulenze di ricerca, consentono una costante sperimentazione su casi studio reali quanto sviluppato parallelamente a livello teorico e metodologico nella ricerca.

3. La ricerca in ambito internazionale

La differenza tra ricerca applicata e ricerca pura non è sempre facile da individuare poiché spesso derivano una dall'altra con uno scambio continuo di informazioni ed esperienze; inoltre, la possibilità di collaborazione a temi di ricerca internazionali consente ai ricercatori di perseguire una costante innovazione nei contenuti e nella metodologia di lavoro.

In questo preciso momento storico l'interoperabilità delle informazioni rappresenta un tema attuale e in rapida evoluzione e il progetto Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces (SEEMPubS) che vede coinvolte tre sedi universitarie, tre centri di ricerca e tre industrie distribuiti in cinque Paesi europei, si inserisce perfettamente in questo ambito. Il progetto si pone come obiettivo essenziale l'attenzione al risparmio energetico negli edifici pubblici, da perseguire mediante l'introduzione di sistemi ICT senza la necessità di lavori edili. Il tema, necessariamente interdisciplinare, richiede la collaborazione di professionalità anche molto diverse tra loro che devono trovare il modo di trasferire una quantità significativa di dati rilevati ed opportunamente elaborati dallo stato di fatto ad un nuovo sistema più efficiente. Il FM basato su metodologia BIM assume un ruolo significativo poiché la necessità finale consiste nell'elaborare dati di tipo energetico (derivanti da sensori di ultima generazione opportunamente posizionati all'interno degli ambienti) in real time, consentendo al sistema completo di modellazione degli edifici di elaborarli ed inviare opportuni segnali per l'ottimizzazione in relazione al reale utilizzo. Non si tratta di una semplice programmazione di accensione e spegnimento dei sistemi, ma di una più complessa elaborazione dei dati derivanti da molteplici tipologie di informazioni (fisica dell'edificio, energetico, illuminotecnico ecc.) opportunamente integrati in un sistema unico

A&RT

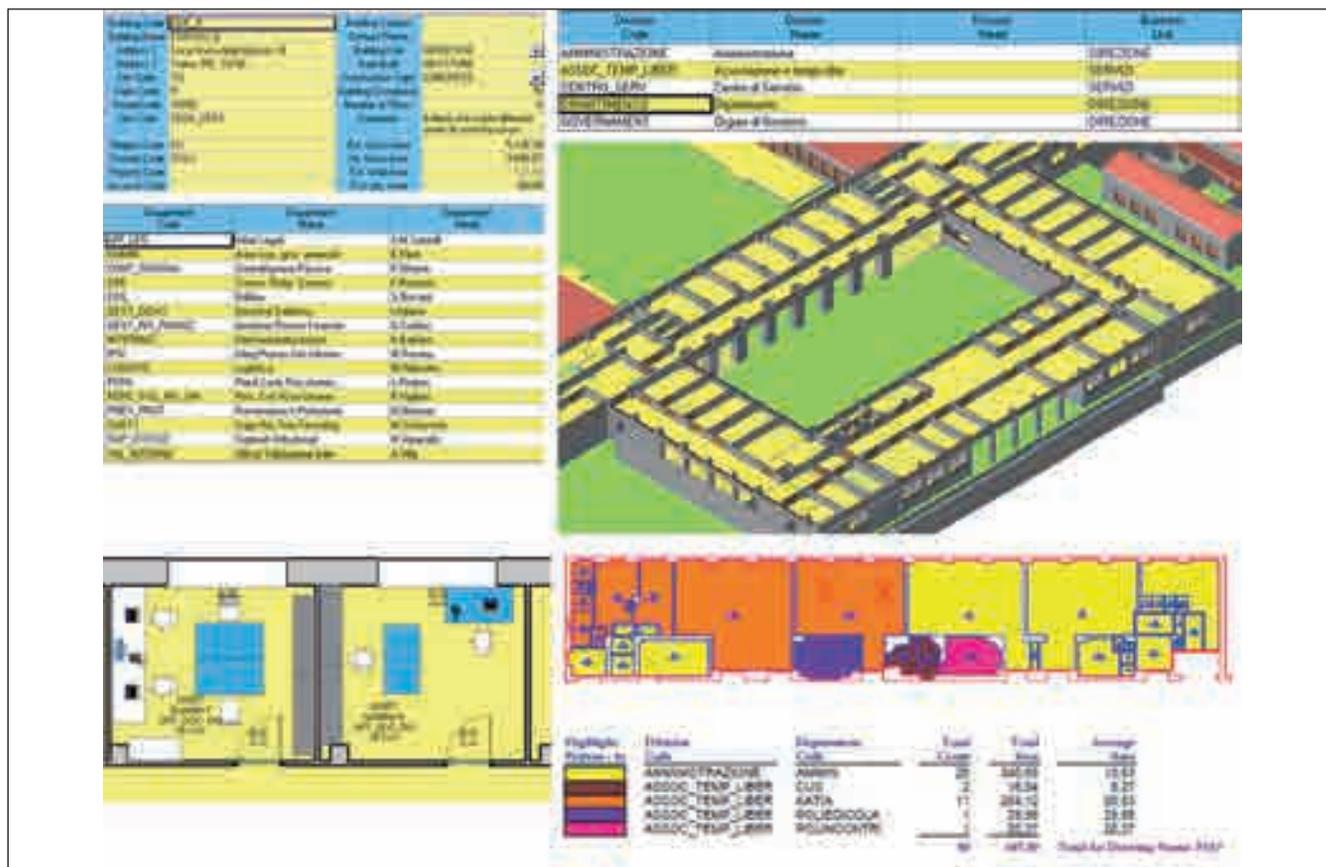
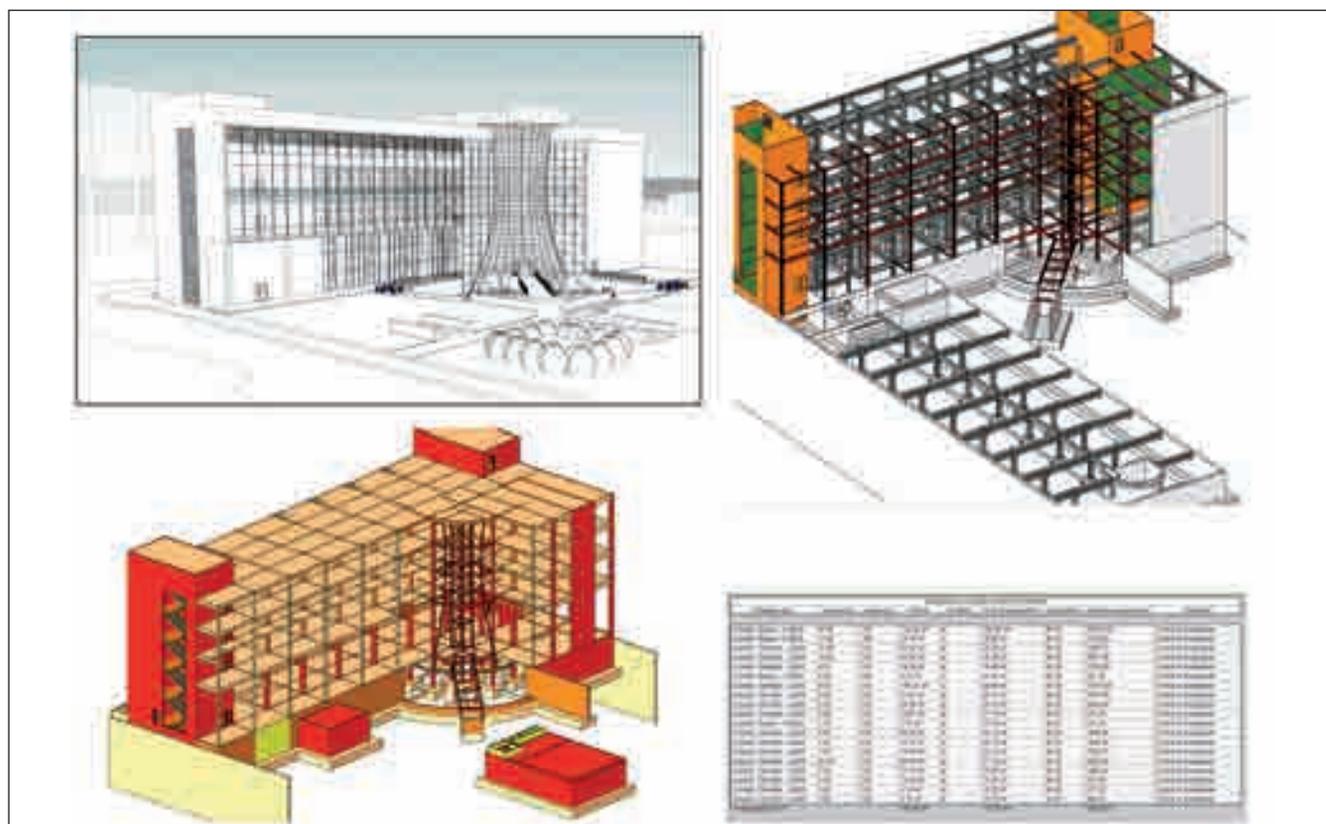


Figura 7. L'interoperabilità delle informazioni tra un modello 3D parametrico e una rappresentazione bidimensionale per il FM richiede ancora sviluppi tecnologici spesso non trascurabili. Autore: D Dalmasso (2010-2011).

Figura 8. Vista concettuale dell'Energy Center, modelli strutturali e abaco per il calcolo delle cassature. Autori: G. Cangialosi e M. Lo Turco (2011).



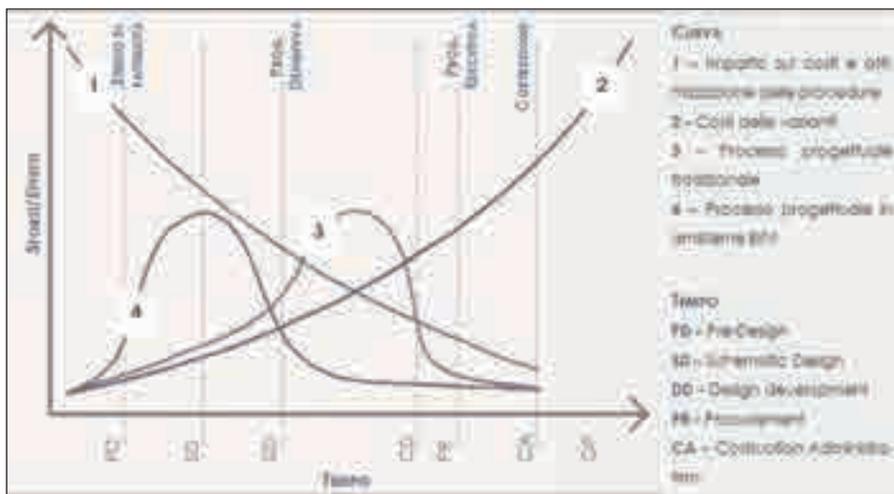
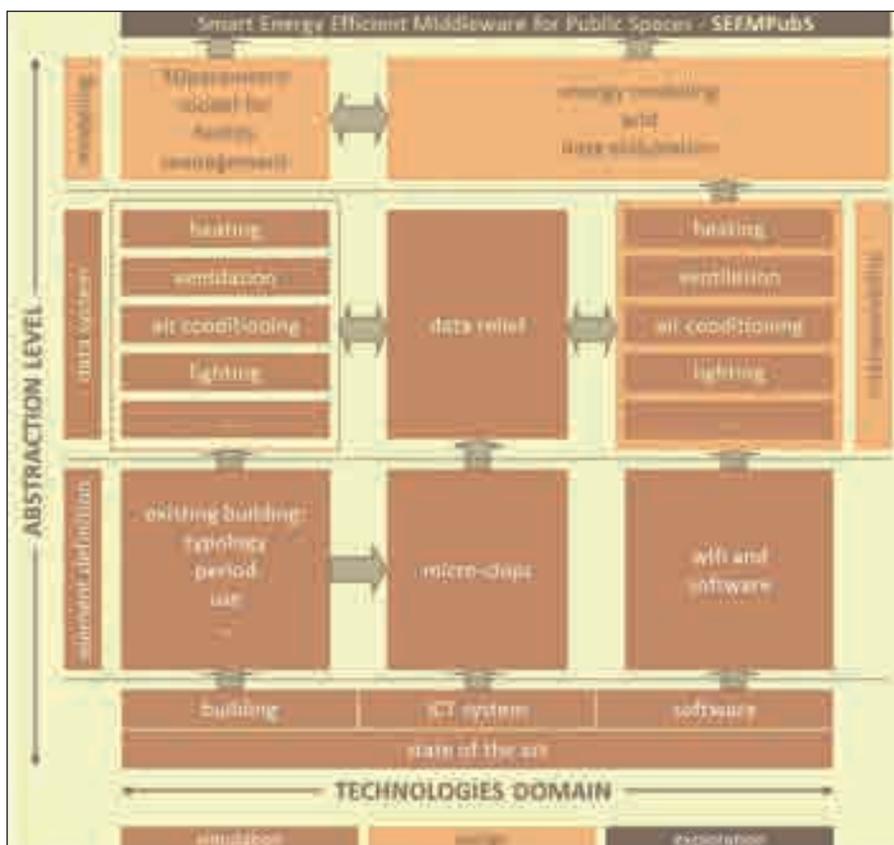


Figura 9. La curva di Macleamy: confronto tra l'andamento dell'attuale processo progettuale e gli effetti dell'utilizzo di un sistema BIM in termini di sforzi, tempi e costi.

Figura 10. Schema concettuale del progetto di ricerca SEEMPubS: la complessità dei dati richiede l'interazione tra competenze interdisciplinari e la comunicazione dei dati è necessariamente basata sul principio della interoperabilità degli stessi. Autore: A. Osello (2009).



A&RT

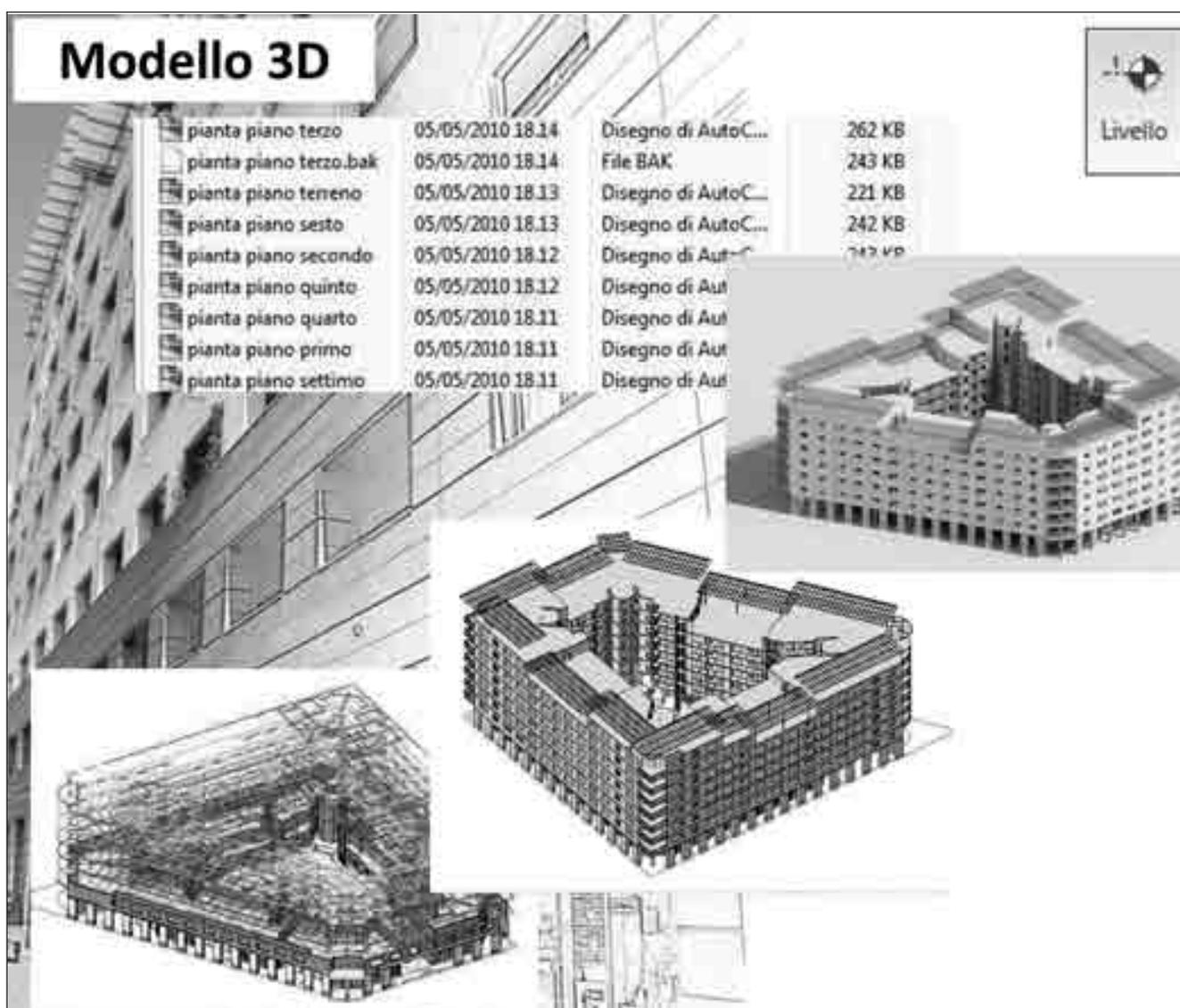
perfettamente interoperabile basato su tecnologie middleware.

4. Le ricadute della ricerca in ambito didattico

L'università deve essere sempre attenta alle continue innovazioni, sensibile ai costanti progressi nei diversi settori dell'edilizia e del conseguente recepimento di tale migliorie da parte dei professionisti. Appare dunque chiaro il ruolo attivo della docenza universitaria, oggi chiamata ad un necessario rinnovamento di carattere tecnologico-procedurale, con particolare attenzione verso i costanti progressi nei diversi settori dell'edilizia e del conseguente recepimento di tali migliorie da parte dei professionisti. Per questa ragione il continuo aggiornamento dei contenuti della didattica, come ricaduta immediata della sperimentazione nell'ambito della ricerca, è essenziale in un settore in continua evoluzione come quello legato alle tecnologie digitali.

A tale proposito la filosofia di lavoro BIM è stata introdotta da diversi anni nell'ateneo torinese. La metodologia scelta è quella di adottare un percorso graduale che prevede inizialmente la semplice introduzione alla modellazione parametrica, che viene poi approfondita negli anni successivi fino ad arrivare ad applicazioni relative alla interoperabilità dei software e alla realtà aumentata nella dissertazione finale della tesi. Così facendo vengono forniti agli allievi sia gli strumenti critico/culturali, sia quelli operativi: si esplorano le potenzialità dei nuovi strumenti intesi come depositari di un sistema informativo, di supporto al processo edilizio, ivi compresa la sua gestione e manutenzione, in una logica in cui il fattore tempo è considerato un parametro determinante nelle diverse fasi decisionali ed operative. In questo modo si formano nuove figure professionali in grado di essere estremamente competitivi in un mercato, quello dell'edilizia, attualmente in forte difficoltà.

Figura 11. Modelli CAD e BIM a confronto: Esito didattico del corso di Tecniche Infografiche di Rappresentazione, corso di Laurea in Ingegneria Edile, la Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino. Studenti: G. Chinazzo, A. Vendola; docente: prof. A. Osello (2010).



Note

¹ Acronimo di Architecture, Engineering Construction e Facility Management.

² I progetti di ricerca di seguito proposti sono a cura di un gruppo di lavoro afferente al Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali che da alcuni anni lavora sulle tematiche presentate. Tale gruppo è costituito da: ing. Gregorio Cangialosi, ing. Daniele Dalmasso, ing. Antonio di Paolo, ing. arch. Massimiliano Lo Turco, prof. Anna Osello, ing. Paolo Piumatti, ing. Mariapaola Vozzola.

³ Si fa esplicitamente riferimento allo schema denominato Capability Maturity Model edito dal BIM National Standard Committee in cui si valuta la qualità dei progetti parametrici in una scala variabile da 1 a 10.

⁴ Per chiarimenti in merito al formato di condivisione delle informazioni si può far riferimento al l'International Alliance

for Interoperability, suddivisa nei diversi capitoli esteri, tra cui è presente da alcuni anni il Capitolo Italiano. Si confronti a tale proposito il sito www.iaiiitalia.polimi.it.

⁵ Nello specifico si è fatto riferimento al Protocollo ITACA nella versione Regione Piemonte 2009.

⁶ A tale riguardo si è fatto esplicito riferimento ai criteri relativi al calcolo delle percentuali dei materiali da fonti rinnovabili e recuperabili e al calcolo geometrico relativo ai diversi fattori di ombreggiamento.

⁷ Il progetto preliminare è stato redatto dal Servizio Edilizia. Referente scientifico è il prof. Filippi del Dipartimento di Energetica, a sottolineare ancora una volta lo stretto rapporto tra ricerca e professione.

⁸ Cfr. C. Eastman, K. Liston, R. Sacks, P. Techolz, *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractor*, Hardcover, marzo 2008, p.153.

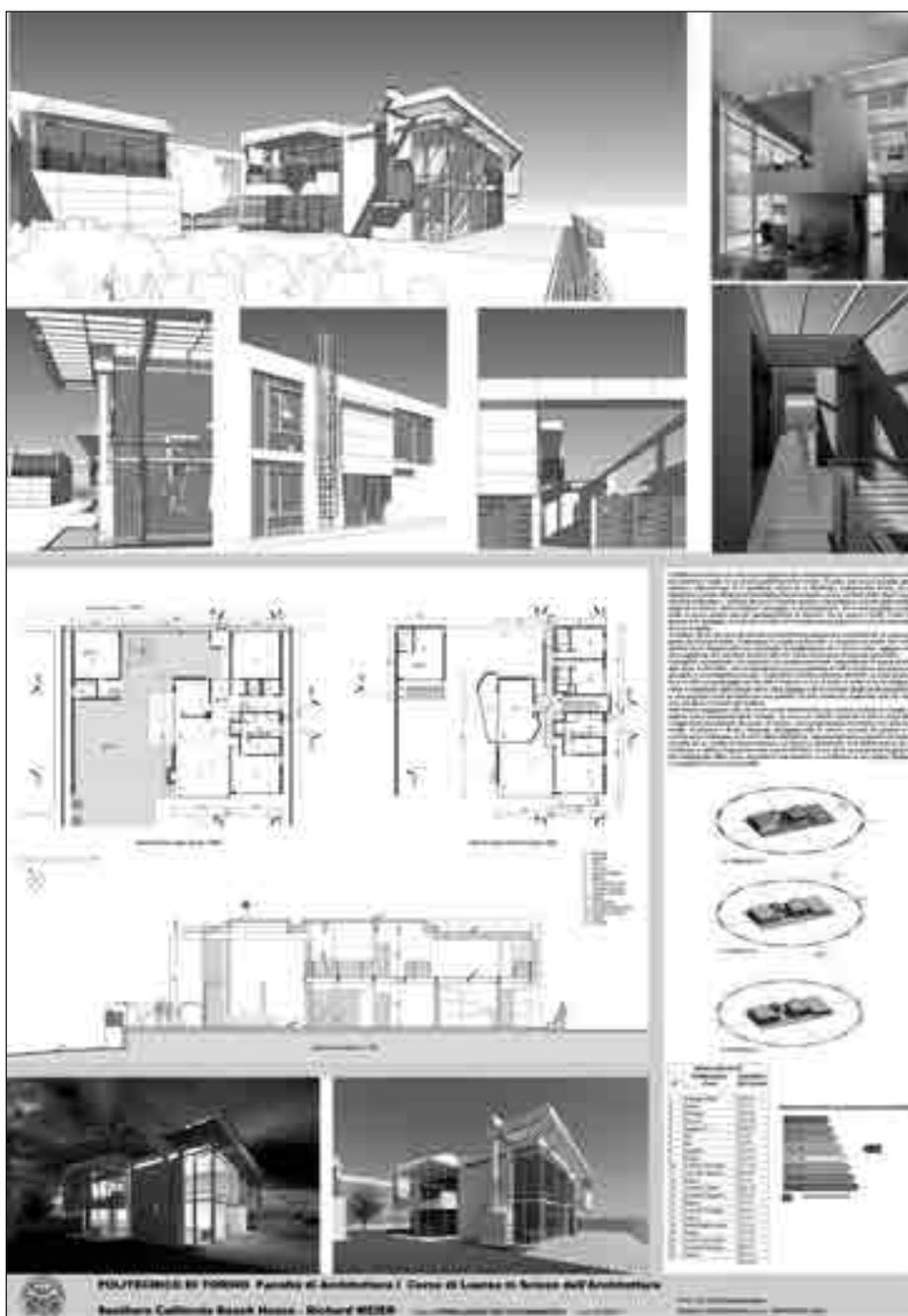


Figura 12. Tavola di sintesi del corso di Modellazione Digitale Parametrica, corso di Laurea in Architettura / Costruzione / Città, la Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino. Studenti: G.L. Cesario, P. Marchisio; docente: M. Lo Turco (2011).

Esempi di progettazione sostenibili con il BIM

BIM for sustainable buildings

Graziano Lento, Autodesk.
graziano.lento@autodesk.com

GRAZIANO LENTO

Il Building Information Modeling (BIM) è un database che consente di raccogliere e interrogare, sia in forma grafica che testuale, tutte le informazioni progettuali riguardanti un modello di una costruzione edilizia. Scopo del BIM è quello di integrare le diverse attività di progettazione di una costruzione. In tale ambito, particolare interesse riveste la possibilità di svolgere, fin dalle prime fasi progettuali, le valutazioni riguardanti la sostenibilità di un edificio, tipicamente interdisciplinari. Ecco che attraverso il BIM risulta possibile progettare e costruire edifici sostenibili quali quelli presentati nella seconda parte dell'articolo.

Building Information Modeling (BIM) is a database that allows all the design information regarding a building model to be collected and interrogated, both as vector graphic or text. The purpose of BIM is to integrate all the various activities of the building design. In this context, it is particularly interesting the ability to carry on, from the earliest design stages, the evaluations regarding the sustainability of a building, activities that are typically interdisciplinary. This is because through BIM it is possible to design and construct sustainable buildings such as those presented in the second part of this article.

Introduzione

Il BIM (Building Information Modeling) nasce, fonte Wikipedia, più di 10 anni fa tramite altre dottrine similari (ad es. Virtual Building) il cui dichiarato obiettivo era di portare tutte le informazioni di progetto in un unico database. Questo database avrebbe poi permesso di estrarre sia graficamente che sotto forma testuale le informazioni necessarie alle varie discipline di progettazione interessate; le informazioni così inserite sarebbero risultate utili per tutti gli attori della filiera e si sarebbero evitati inutili repliche ed errori di coordinamento.

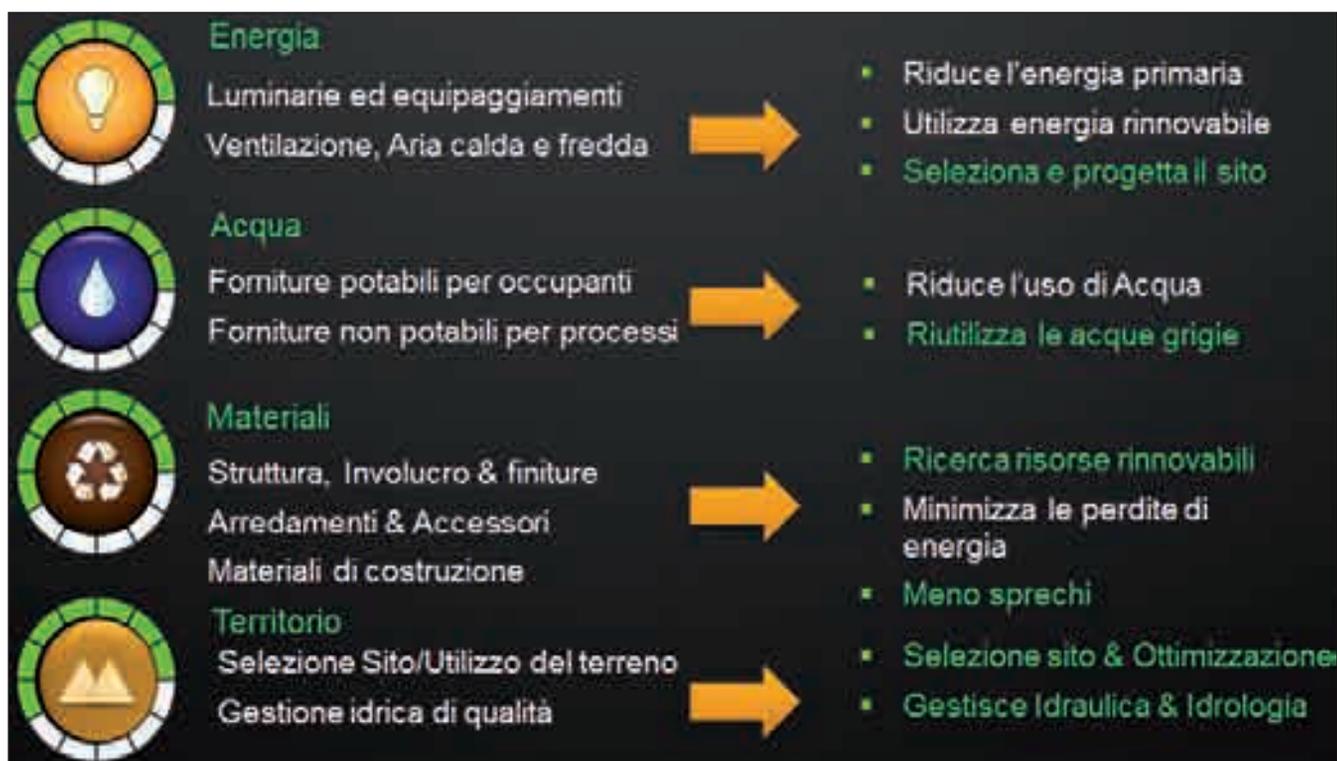
Autodesk, l'azienda che qui rappresento, si è fatta da sempre sostenitrice di innovazione tecnologica nel mondo della progettazione, sia evolvendo il sistema targato Autocad verso modelli sempre più moderni, sia acquisendo tecnologia nel variegato mondo delle software house mondiali, per poter competere all'avanguardia nel mondo 3D. Il 3D non è da usarsi in contrapposizione al bidimensionale, che ormai risulta essere una pratica obsoleta e irrimediabilmente proiettata verso un lento declino, bensì è uno strumento utile per la visualizzazione di informazioni grafico-geometriche. Ogni elemento inserito in un progetto deve essere consapevole e comportarsi di conseguenza rispetto agli elementi vicini o ad esso legati. Se tutti gli elementi verranno inseriti correttamente e con tutte le informazioni necessarie, allora il modello di informazioni (da cui Building Information Modeling) risponderà a tutte le richieste grafiche, testuali, di analisi, di comunicazione, insomma avrà una risposta per ogni richiesta. Dall'altra parte insegnare la sostenibilità tout court ai progettisti diventa molto arduo se non esistono metodi oggettivi di calcolo e comparazione dei dati. La sostenibilità è un

meccanismo oramai inserito in ogni gesto quotidiano, e i progettisti devono cercare di pensare a nuove forme di sostenibilità inserendoli in modelli edilizi consolidati. L'approccio sostenibile esiste sin dalle primissime fasi della progettazione, nelle quali il consumo di CO₂ deve essere un punto fermo nella mente di chi pensa il progetto. Questa impostazione sulla sostenibilità, legata all'alto livello di innovazione tecnologica nella progettazione, di fatto favorisce lo sviluppo di quella che oggi viene comunemente definita come Progettazione Sostenibile.

1. Tipologie di analisi di sostenibilità

Una delle domande che spesso ci vengono fatte è: ma in che modo venivano svolte determinate analisi prima dell'avvento delle nuove tecnologie? Bella domanda, purtroppo quasi senza risposte certe. L'innovazione degli ultimi 3-5 anni hanno portato i progettisti a gestire una vasta gamma di analisi direttamente nel loro software di utilizzo principale. Per anni si sono affermate analisi svolte tramite sistemi DOS o binari abbastanza discutibili, non per il merito ma per possibilità di diffusione a tutti. Si pensi che ancora oggi strumenti come EnergyPlus o altri hanno interfacce poco amichevoli. Gli ambiti di analisi oggi permettono di gestire una buona parte della questione sostenibile mantenendo il controllo della progettazione, modificando nella giusta direzione le scelte progettuali: si svolgono simulazioni fluidodinamiche (CFD), simulazioni termo energetiche, acustiche, illuminotecniche. In futuro ne verranno sicuramente delle altre e quelle in essere saranno oggetto di miglioramenti. La condizione necessaria perché possa avvenire l'analisi è che il modello di informazioni sia stato creato secondo precisi requisiti.

Figura 1. Le aree tematiche di sviluppo per la progettazione sostenibile.



Come si evince dall'immagine nella Figura 1, Territorio, Materiali, Acqua, Energia sono i quattro capisaldi sul quale la ricerca della sostenibilità sta evolvendo.

Queste aree tematiche vengono proposte man mano che il progetto prende forma, ed in molti casi possono modificare la sostenibilità dell'edificio molto in profondità. Nei prossimi paragrafi vedremo in quale fase di progettazione classica possiamo inserire determinate analisi, dando uno sguardo agli strumenti oggi disponibili, soprattutto di casa Autodesk.

2. Progettazione concettuale

La progettazione concettuale è sicuramente quella più libera, senza vincoli. Ed è in questa fase che le analisi svolte sono più importanti, perché indirizzano le scelte del progettista in maniera irreversibile. Molto spesso in questa fase non si ha ancora in mente in modo preciso la forma, l'orientamento, i materiali e le strategie di progettazione. Il concetto è ancora una fase quasi onirica del progetto, ci sono delle linee ancora sfumate e delle idee non ancora precise. Si utilizzano strumenti di modellazione di massa, che poi permettano delle analisi sulle superfici e sulle facciate permette in largo anticipo di avere determinate risposte. Si modella per facce, bordi e spigoli, permettendo quasi qualunque tipo di forma per il progetto, utilizzando sistemi di FreeForm, oppure si crea attraverso sistemi ancora più complessi tipo il FormFinding che permette di generare delle forme da situazioni legate ad agenti atmosferici utilizzando materiali reali (esempio bloccando in due punti un fazzoletto di seta e facendo passare il vento attraverso il software

A&RT

genera delle superfici che sono poi usate come copertura di un edificio particolare). Di seguito a questo si possono utilizzare tutte le informazioni pertinenti la collocazione spaziale del progetto, utilizzando le coordinate geografiche oppure derivandoli da strumenti tipo Google Maps o Google Earth che offrono questo tipo di interazione, prendendo anche la foto del sito. Dopo i dati di posizionamento si passa a scegliere i dati meteorologici, che contengono tutte le serie storiche climatiche di quel sito. È possibile sapere esattamente la temperatura media, l'indice di piovosità, ventosità, umidità e così via. Queste informazioni saranno molto utili per indirizzare al meglio la scelta dei materiali, delle superfici verticali opache e vetrate con aggetti. Con quali strumenti e tecnologie possiamo oggi creare modelli di informazioni ed avere questo tipo di risposte. Mi riferisco in questo caso a Revit nella sua gestione delle volumetrie, oppure a Vasari, che comprende determinate analisi prese da Ecotect, altro strumento fondamentale per la progettazione concettuale sostenibile.

3. Progettazione preliminare

Passata la fase della progettazione concettuale, si inizia a fare sul serio. Il progetto ha delle idee ben note a livello di forma, orientamento e necessita di caratteristiche importanti per il passaggio ad una fase maggiormente consolidata. Questa fase possiamo definirla come preliminare: avverranno comunque tante modifiche ma si inizieranno a porre le basi sul quale poggerà l'intero progetto. Si iniziano a declinare le varie possibilità offerte dal BIM per la modellazione della performance energetica dell'edificio. Si iniziano ad inserire le informazioni di spazi da occupare, il numero di possibili utenti della struttura, i materiali iniziano ad essere catalogati secondo le proprie caratteristiche. Dagli elementi modellati seguendo spigoli, bordi e facce, si passa a muri, porte e finestre. Questi elementi posseggono delle caratteristiche, oltre che geometriche, che permettono di essere calcolate ai fini delle prestazioni: una parete è identificata attraverso la trasmittanza termica del pacchetto o le caratteristiche termofisiche di ogni singolo strato, una finestra è identificata attraverso il tipo di vetro e telaio con i quali è stata creata e così via. Il progettista sarà dunque in grado di conoscere in largo anticipo determinate caratteristiche degli elementi costruttivi e fare gli opportuni cambiamenti in caso di errore nella scelta del materiale. Il Building Information Modeling si propone di spostare in anticipo, rispetto al classico sistema di progettazione-realizzazione, determinate problematiche; è proprio per questo che tutti i dati devono essere coerenti in modo da soddisfare le richieste dei vari attori della filiera progettuale. Nella progettazione preliminare si possono quindi valutare gli effetti non solo del progetto architettonico, ma anche di quello impiantistico, che introduce degli elementi che permettono di validare i calcoli fatti in precedenza e gestire al meglio gli impianti per il fabbisogno energetico. È ancora probabile in questa fase un qualche spostamento del progetto o piccola variazione della sua forma,

questo sempre per permettere ulteriori risparmi o performance energetiche. È chiaro che in questa fase la parte preponderante del lavoro riguarda la progettazione degli spazi, dei materiali e degli impianti. Tecnologie avanzate come Revit, Ecotect e Green Building Studio permettono di avere delle informazioni molto dettagliate e di svolgere i calcoli secondo il metodo ASHRAE o per la normativa per il LEED®.

4. Progettazione esecutiva

La somma di tutti i dati inseriti durante le precedenti fasi di progettazione possono adesso dare dei risultati globali sulla performance energetica dell'edificio. Il dettaglio esecutivo nel BIM viene in buona parte recuperato dalle fasi precedenti con facilità ed automazione (sempre che il modello risponda correttamente a determinati requisiti). A questo punto le modifiche non creano più problemi in un sistema a database parametrico relazionale, dove al cambiare di ogni elemento corrisponde la diffusione automatica della modifica su tutto il progetto. La sostenibilità in questa fase si basa soprattutto sulla qualità dei materiali ed il loro controllo, sull'analisi dell'illuminazione naturale ed artificiale, sulle schermature, sugli impianti innovativi, sui sistemi di certificazione della performance energetica volontaria e cogente. I sistemi utilizzabili in questa fase sono simili a quelli della fase precedente, Revit, Ecotect e Green Building Studio, ma vengono utilizzati con maggiore concretezza rispetto a prima. I calcoli sono adesso praticamente definitivi e le aspettative sul progetto diventano reali. Da qui in poi tocca a chi costruirà l'edificio fare in modo di non abbassarne le prestazioni.

5. Scelta dei materiali, costo, ciclo di vita

La scelta dei materiali merita uno spazio apposito. Di solito nessun software si inserisce nella scelta dei materiali per la progettazione, perché si ritiene non esistano sistemi di gestione di una così vasta mole di dati. Errato. O meglio fino a qualche anno fa era così, poi hanno iniziato a diffondersi dei database sempre più forniti e reali che permettono di conoscere un determinato materiale dalle sue origini fino al fine ciclo vita, con tutte le indicazioni sulla ecocompatibilità, sul processo di creazione e smaltimento, sul consumo di CO₂ ecc. Uno di questi eccezionali database si chiama Granta ed è utilizzato da Autodesk come fornitore di dati progettuali sui materiali nell'ambito dei prodotti manifatturieri. Chiunque oggi progetti qualcosa che viene poi utilizzato nel mondo architettonico, potrà farlo ben sapendo (ed in largo anticipo) i costi nascosti, la CO₂ utilizzata, l'energia inglobata e tutti i dati che fanno sì che un materiale sia veramente ecocompatibile e non solo perché l'azienda che lo produce lo giudica "green" e magari offre il prezzo migliore. Servono dei dati certi e, possibilmente, certificati da terze parti affidabili. La qualità e certificazione dei materiali è parte integrante dei vari processi che portano, per esempio, alla certificazione volontaria degli edifici o a quelle ambientali, dove il ciclo di vita dei materiali producono punteggio utile per scalare le classifiche di qualità.

6. Le certificazioni di qualità ed il BIM in Italia

Non si può non accennare, a questo punto, dei sistemi di certificazione che garantiscono la buona qualità e manifattura dell'edificio. Abbiamo in Italia un vasto panorama di normative e certificazione volontarie, le prime hanno effetto cogente e non sono molto stringenti; riguardano l'edificio ed il suo impianto e ne valutano determinate caratteristiche di emissione. Oggi non si può vendere una casa che non abbia un certificato a norma prodotto da un certificatore qualificato. Diverso il discorso per le certificazioni di qualità, dove viene scelta una determinata strada e portata avanti secondo criteri molto restrittivi. Si tratta per lo più di sistemi a punteggio, che alla fine del progetto e della costruzione, vengono sommati per classificare il tutto entro una griglia definita di criteri e punteggi. Le più famose sono LEED® (prodotta da Green Building Council) che in Italia è presente da poco ma è molto interessante, Protocollo Itaca (protocollo creato con l'intesa stato-regioni) che viene utilizzato per la maggior parte in modalità cogente su determinati incentivi e condivide con il LEED® il fatto di essere una certificazione ambientale. C'è poi anche CasaClima (norma creata da Agenzia CasaClima a Bolzano e Alto Adige) che basa buona parte della sua certificazione sull'involucro e sui materiali, e da qualche tempo si è aperta anche a certificazioni di natura più olistica. Tutte queste certificazioni, sia obbligatorie che volontarie, prendono molto vantaggio dall'essere studiate in un contesto BIM con tecnologie innovative. LEED® per esempio è presente in Green Building Studio come parametro attivo nel controllo delle luci, delle acque e delle vetrate, Revit viene spesso utilizzato per generare automaticamente i dati che poi passano ad Agenzia CasaClima per il controllo della progettazione. Ci sono tanti esempi e tutti di livello molto alto. Solo un modello di informazioni completo potrà fornire tutti i dati per tutte le discipline che vorranno scambiare dati con esso.

7. Esempi di progettazione sostenibile

Gli esempi di progettazione sostenibile sono tanti e molto diffusi, pur se ad onore del vero c'è anche tanto green washing in giro, quindi bisogna stare attenti ai falsi sostenibili o alle diciture ingannevoli. Ad esempio un cantiere vicino alla mia abitazione riportava la frase «Più ambiente, più case, più vita» cercando di mettere insieme il fattore Case tra i due fattori legati all'ambiente, tentativo dal mio punto di vista vano.

Tornando sui progetti realmente sostenibili ne voglio rappresentare alcuni, in modo rapido e sommario. Il primo esempio proviene dall'altra parte del mondo, a San Francisco, dove Renzo Piano Building Workshop in cordata con Arup, Stantec Architecture and SWA hanno dato vita al California Academy of Sciences, un museo di scienze naturali che ne rappresenta la quintessenza. Un posto dove è stato generato un modello di informazioni con il quale gli altri progettisti in cordata sono riusciti ad inserire sulla gigantesca copertura un sistema di conservazione e riciclo dell'acqua, generatori di

corrente, dinamiche di ventilazione e di vento, oltre ad una penetrazione di raggi solari per supportare una barriera corallina ed una foresta pluviale costruita al suo interno. Un sistema ecocompatibile ma al tempo stesso che si autogoverna generando in modalità casuale gli eventi al suo interno, proprio come fa la natura. A livello di progettazione sono state simulate complesse analisi e algoritmi per controllare che la cupola in copertura facilitasse sempre l'ingresso di luce nel cuore dell'edificio. Con il più grande tetto vivente nel mondo, sette cupole strutturali, coperture in vetro ed una tettoia fotovoltaica questa struttura, situata nel grande parco del Golden Gate, è stata pensata e progettata come totalmente sostenibile.

Questo esempio permette di capire che il numero e la precisione delle analisi svolte in fasi di progetto anticipate o preliminari è notevolmente aumentato e si affinato, in modo da prevedere il comportamento di strutture molto complesse con un piccolo margine di errore.

I modelli di informazioni rappresentano il sistema nervoso centrale delle aziende di progettazione e c'è da scommettere che per il loro futuro punteranno fortemente a questo tipo di innovazione. Passeremo sempre più da Studi di progettazione basati sui dati espressi nelle tavole a Studi dove man mano la documentazione diventerà un "di cui", cioè una delle tante applicazioni automatizzate, o quasi, del processo ingegnerizzato BIM.

Altro esempio, di diversa importanza dal punto di vista del progetto e degli interpreti, riguarda la ristrutturazione di una biblioteca di testi ebraici, la più grande fuori dal territorio di Gerusalemme. Questo progetto, di sede a Cincinnati in Ohio, è stato portato avanti da un'azienda americana di impiantisti chiamata KLH Engineers. Il progetto aveva dei tempi strettissimi per via dell'obbligo di ritorno di migliaia di testi sacri antichissimi in tempi molto rapidi per evitare che si deteriorassero. Il BIM ha permesso, insieme alle analisi di cui parlavo in precedenza, di gestire tutte quelle informazioni in largo anticipo rispetto al primo giorno di lavoro in cantiere, dove poi tutto si è svolto con molta prevedibilità.

Controlli sulle temperature costanti e sull'umidità, sommate alle scelte energetiche del College che ospita la biblioteca hanno fatto sì che il progetto fosse una vera sfida per i progettisti alle prese con problemi di affidabilità molto stringenti. Se le nuove tecnologie non fossero venute incontro a questo tipo di progettazione oggi probabilmente qualche testo antico avrebbe problemi di sopravvivenza.

Tutti i riferimenti si trovano facilmente in rete utilizzando il fido motore di ricerca, per avere sottomano tutti i progetti e referenze sulla sostenibilità relazionata con i prodotti e le tecnologie dell'azienda che rappresento.

Avendo visto i molteplici ambiti in cui la sostenibilità risiede è lecito pensare che essa debba in qualche modo pervadere tutti gli ambiti della progettazione, anche quando il progetto stesso non lo richiederebbe. Non c'è idea o analisi o materiale che non possa essere testato prima di andare in produzione, la tecnologia è il vero vantaggio che permette oggi di essere sostenibili per principio.

Qualunque sia il livello di sostenibilità che voi cerchiate, la tecnologia Autodesk sarà sempre con voi.

Il calcolo delle prestazioni per i componenti di involucro innovativi

The energy performance evaluation of innovative building envelopes

FILIPPO DE ROSSI, NICOLA BIANCO, GIUSEPPE PETER VANOLI, FABRIZIO ASCIONE, GIANLUCA TURNI

Filippo De Rossi, ingegnere meccanico, professore ordinario di Fisica Tecnica Ambientale, preside della Facoltà di Ingegneria, DING - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento. derossi@unisannio.it

Nicola Bianco, ingegnere meccanico, professore associato di Fisica Tecnica Industriale, DETEC - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli. nicola.bianco@unina.it

Giuseppe Peter Vanoli, ingegnere meccanico, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale, DING - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento. vanoli@unisannio.it

Fabrizio Ascione, architetto, assegnista di ricerca presso il DING - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento. fabrizio.ascione@unina.it

Gianluca Turni, ingegnere, assegnista di ricerca presso il DING - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento. turni@unisannio.it

La memoria mira a sottolineare la necessità di procedure di calcolo congrue per la modellazione e la valutazione energetica di componenti innovativi di involucro edilizio. Lo stato della tecnologia, infatti, talora corre più velocemente rispetto all'evoluzione delle normative tecniche, ragione per cui, pur se la legge italiana favorisce lo sviluppo e la diffusione dei componenti di involucro intelligenti – quali sistemi solari passivi, coperture a verde e quant'altro – spesso il settore delle professioni tecniche non è dotato di riferimenti per la progettazione, l'ottimizzazione e la valutazione energetica di tali sistemi.

All'interno di una convenzione di ricerca tra Università degli Studi del Sannio e la ACCA Software S.p.A., con la collaborazione dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, sono state condotte ricerche – per taluni componenti di involucro edilizio solitamente progettati per il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio – atte allo sviluppo di congrue metodologie finalizzate alla valutazione delle indotte prestazioni energetiche.

La presentazione di tali tecnologie e i risultati dei confronti numerici derivanti dall'adozione di procedure di valutazione approssimate e rigorose sono riportati nelle pagine che seguono.

The paper emphasizes the need of adequate computational procedures for modeling and rightly-analyzing the energy performance of innovative building envelope components. The technological state of the art, in fact, sometimes runs faster than the evolution of the technical standards. On the other hand, even if the Italian law promotes the development and diffusion of such building components – e.g., passive solar systems, green roofs and so on – often the area of technical professions has no reference for the design, the optimization and energy assessment of these systems. Within a research agreement between the University of Sannio and the ACCA Software S.p.A. – in collaboration with the University of Naples Federico II too –, several studies were carried out in order to develop computational methods for an apt energy modeling of building components, selecting those usually designed in order to improve the energy performance of buildings.

A short presentation of these technologies and the results of numerical comparisons - arising from the approximate and rigorous evaluation procedures - are described in the following pages.

1. Dalla EPBD alle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Richiami legislativi e normativi

Con l'emanazione del decreto legislativo 192/2005, l'Italia avvia il recepimento dei contenuti della Direttiva Europea 2002/91/CE EPBD, modificando la precedente legislazione nazionale in materia di efficienza energetica in edilizia, centrata intorno alla legge 10/91 e attuata attraverso il D.P.R. 412/93 e modificazioni.

La EPBD nasce con la finalità di orientare l'attività edilizia nei paesi membri verso una concezione di efficienza energetica che consenta, calata negli specifici contesti territoriali, di perseguire anche obiettivi rivolti alla riduzione

dell'impatto ambientale ed al contenimento dell'inquinamento. La EPBD stabilisce che l'obiettivo finale è rendere chiara e trasparente la valutazione del rendimento energetico degli edifici, mediante indicatori prestazionali e parametri predittivi dell'efficienza energetica e, eventualmente, dell'impatto ambientale indotto dalla gestione dell'edificio. La sostanziale novità introdotta dalla EPBD è l'attenzione posta all'efficienza energetica dell'edilizia esistente. La prestazione energetica degli edifici è esplicitata dal Certificato energetico, che deve consentire ai cittadini una trasparente valutazione dell'efficienza del sistema edilizio, permettendo confronti semplici e scelte consapevoli, ad esempio all'atto dell'acquisto.

Per quanto concerne la trasposizione Italiana della EPBD, attualmente sono in vigore le modifiche alla Legge 10/91 apportate dal D. Lgs. 192/2005, così come integrato e modificato dal D. Lgs. 311/2006, e specificato da due decreti di attuazione dell'estate 2009.

In particolare, dopo un intervallo temporale ben più lungo di quanto stabilito nel D. Lgs. 192/2005 (da questo punto in poi, sempre inteso nella versione integrata e modificata dal D. Lgs. 311/2006), nell'estate 2009 sono stati pubblicati in Gazzetta Ufficiale i due più attesi provvedimenti legislativi volti ad identificare, in maniera definitiva, procedure di calcolo e metodologie per la classificazione energetica degli edifici:

- nel mese di giugno 2009 è pubblicato in Gazzetta Ufficiale il Decreto del Presidente della Repubblica n. 59/2009, i cui contenuti consentono di superare il regime transitorio così come proposto dall'allegato I del decreto legislativo citato;
- il 10 luglio 2009 è varato il Decreto Interministeriale 26.06.2009, relativo alla definizione delle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e provvedimenti per il raccordo e l'armonizzazione di procedure e prescrizioni stabilite in maniera concorrente da Stato centrale e Regioni.

Ad oggi – primavera 2011 – a livello nazionale mancano ancora alcuni provvedimenti legislativi, tra cui il Decreto attuativo dell'articolo 4, comma 1 lettera c) del D. Lgs. 192/2005 (individuazione dei soggetti Certificatori), nonché gli strumenti di legge necessari per governare procedure di calcolo, verifiche e requisiti minimi degli impianti.

Il D.P.R. 59/2009, con la finalità di stabilire un'applicazione omogenea per l'intero territorio nazionale delle disposizioni sancite dalla EPBD e già introdotte in Italia attraverso il D. Lgs. 192/2005, include, come ambiti di intervento, misure di valutazione dell'efficienza energetica per: 1) riscaldamento invernale, 2) climatizzazione estiva, 3) preparazione di acqua calda domestica, 4) illuminazione artificiale degli ambienti.

L' EP_p , espresso in kWh/(m²anno) o kWh/(m³anno), a partire

dal D. Lgs. 192/2005 rappresenta l'indicatore prestazionale chiave che, sostitutivo del FEN, deve risultare minore di un appropriato valore limite.

In regime estivo, il comma 3 dell'art. 4 del D.P.R. 59/2009, per gli stessi interventi per cui è resa obbligatoria la verifica dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_p), al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e per contenere la temperatura interna degli ambienti, obbliga i progettisti a verificare l'indice $EP_{e,inv}$, calcolato come fabbisogno energetico dell'involucro edilizio per la climatizzazione estiva, rispetto ad una superficie o ad un volume unitario, determinato secondo le metodologie UNI TS 11300 Parte 1.

Senza alcuna presunzione di esaustività, il seguito della memoria ribadisce, talora anche mediante semplificazioni concettuali, le principali equazioni attraverso le quali tali indicatori sono calcolati.

In regime di riscaldamento, secondo le equazioni 1 e 2 di seguito riportate, la prima corrispondente alla equazione (1) della Specifica Tecnica UNI TS 11300 parte 1, la seconda dedotta dalle metodologie di calcolo proposte nella parte 2 della Norma, si determina, nel caso più generale ed operando semplici passaggi logici, il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale ($Q_{p,H}$) mediante la equazione 3 (inversa della equazione (8) della UNI TS 11300 parte 2).

$$(1) \quad Q_{H,ut} = (Q_{H,ut} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{H,ut} + Q_{H,ve})$$

$$(2) \quad \eta_{p,H} = f(Q_{H,ut} \cdot \eta_{conv,conv,1} + \dots + \eta_{conv,conv,n})$$

$$(3) \quad Q_{p,H} = Q_{H,ut} / \eta_{p,H}$$

Nelle equazioni sopra proposte (il pedice H, "heating", è identificativo del regime invernale), i termini dei bilanci rappresentano:

- $Q_{H,nd}$, il fabbisogno di energia termica utile ideale dell'edificio;
- $Q_{H,tr}$, la sommatoria, estesa a tutti i componenti dell'involucro edilizio, delle perdite energetiche per flussi diffusivi attraverso l'involucro edilizio;
- $Q_{H,ve}$, la sommatoria delle perdite energetiche per flussi convettivi (dovuti ai rinnovi di aria esterna e quindi alla ventilazione);
- Q_{int} , gli apporti gratuiti di energia termica dovuti a sorgenti endogene (i.e. persone, macchinari installati e dispositivi interni all'edificio);
- Q_{sol} , le rientrate termiche di natura solare;
- $\eta_{H,gn}$, il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti;
- $\eta_{g,H}$, il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico, funzione del fabbisogno termico e dei

A&RT

rendimenti/perdite energetiche attribuiti ai singoli sottosistemi (*generazione, distribuzione, controllo, emissione, accumulo, ausiliari*).

I calcoli devono essere effettuati con riferimento a ciascun mese, o frazione, della stagione di riscaldamento, così come individuata dal D.P.R. 412/93.

Per il calcolo dell' $EP_{e,inv}$ si procede mediante l'equazione di bilancio 4, dividendo il fabbisogno $Q_{C,nd}$ (termico e non primario) per la superficie utile in pianta nel caso di edifici residenziali (kWh/m^2a) o per il volume dell'edificio relativamente alle altre destinazioni d'uso (kWh/m^3a).

$$(4) \quad Q_{C,nd} = (Q_{in} + Q_{ext}) - \eta_{C,Is} (Q_{out} + Q_{ext})$$

Per quanto concerne la valutazione della prestazione energetica dell'edificio in regime estivo, la formula proposta nella equazione 4 è del tutto speculare a quella formalizzata per il regime invernale, divenendo le rientrate termiche, solari e da fonti endogene, il termine penalizzante, mentre le dispersioni tra ambiente esterno e l'ambiente interno riducono il fabbisogno termico dell'edificio in raffrescamento. Nella equazione 4, l'unico termine nuovo rispetto all'equazione di bilancio invernale è $\eta_{C,Is}$, fattore di utilizzazione delle dispersioni gratuite, introdotto come coefficiente di correzione del bilancio energetico, al fine di stabilire una procedura tale da tenere conto, in qualche modo, degli effetti dell'inerzia termica. Gli altri termini risultano del tutto analoghi a quelli già descritti nel bilancio in regime di riscaldamento (il pedice "C", "cooling", è identificativo del regime di funzionamento in raffrescamento).

Indipendentemente dalle procedure di calcolo adottate – "standard", da "rilievo sull'edificio" o "adatta all'utenza" e per il passo temporale rispetto cui condurre i calcoli (mensile o orario) – i bilanci energetici sul sistema edificio assumono sempre le formulazioni proposte nelle equazioni sopra riportate.

Le equazioni di cui sopra, riassuntive della prestazione energetica dell'edificio, senza alcuna pretesa di completezza, sono state proposte solo per capire quanto definito nel seguito. Focus di questo articolo, infatti, è identificare i termini e le modalità attraverso le quali i componenti innovativi di involucro edilizio alterano gli scambi energetici tra edificio ed ambiente, agendo su uno o più termini delle equazioni 1 e 4 in precedenza proposte.

2. Sintetica presentazione di alcune tecnologie

In questa sezione, si evidenzia il funzionamento di talune tecnologie innovative per la realizzazione di involucri opachi e trasparenti, evidenziando la fenomenologia che le rende utili o dannose, nonché i parametri da considerare nei calcoli della prestazione energetica ottenibile mediante il ricorso a tali sistemi.

a) Tetti verdi

Il tetto verde è un sistema tecnologico complesso, in cui lo strato vegetale è parte integrante della copertura. Una corretta progettazione consente numerosi vantaggi energetici ed ambientali, sia in riferimento al microclima interno al singolo edificio sia per quanto concerne problematiche di più larga scala.

Brevemente, tralasciando gli aspetti non strettamente energetici, le coperture a verde fungono da sistema atto a ridurre le rientrate termiche in regime estivo, senza peggiorare significativamente, allorquando adeguatamente progettate, le prestazioni energetiche invernali.

Prima di addentrarsi nella fenomenologia di funzionamento di tale soluzione tecnologica, è immediatamente necessario sottolineare le differenze sostanziali tra un tetto verde ed una parete verde. Queste ultime sono solitamente realizzate mediante crescita, più o meno spontanea, di rampicanti sulle pareti verticali di un edificio, contrariamente alle coperture a verde che, invece, richiedono accurata progettazione. Le pareti verdi consentono un miglioramento delle prestazioni estive degli edifici, riducendo la rientrata termica indotta dall'irraggiamento solare incidente sulle superfici, grazie all'elevato coefficiente di riflessione della radiazione solare da parte del fogliame. In regime invernale, quasi sempre le pareti inverdite nella stagione calda si spogliano dalla vegetazione, delineando una neutralità della parete verde nella stagione di riscaldamento.

I fenomeni fisici che consentono il funzionamento di un tetto verde (Figura 1), invece, sono schematicamente riassumibili nelle tre voci di seguito indicate:

- 1) sfruttamento della massa inerziale come elemento di accumulo termico;
- 2) processi vitali della vegetazione che, attraverso la fotosintesi, determinano assorbimento di energia;
- 3) fenomeni di evapotraspirazione, attraverso cui terreno di coltura e lo strato vegetativo determinano un effetto di raffreddamento evaporativo in copertura.

Comunemente un tetto verde può essere realizzato con struttura vegetale "multi-strato" o "mono-strato". Nel caso di tecnologia multistrato, sono poste in serie tre diverse funzioni (dall'alto verso il basso: substrato vegetativo, strato filtrante e strato drenante). Nel caso di tetto verde mono-strato, invece, lo strato vegetale, comprensivo di piante e strato colturale, è direttamente poggiato sull'impermeabilizzazione antiradice del tetto.

La soluzione multi-strato, pur richiedendo costi iniziali maggiori, consente prestazioni energetiche migliori, così come maggiore tenuta nel tempo del sistema. Il mono-strato ha, ad oggi, una residuale diffusione nei climi dell'Europa settentrionale, soprattutto in ambito extraurbano; ai fini di questa studio è, comunque, soluzione non di interesse applicativo.

Nell'ambito dei tetti verdi multi-strato, un'ulteriore suddivisione possibile riguarda il tipo di vegetazione (Figura 2)

realizzata sul tetto pensile: a) verde intensivo, b) verde estensivo.

Il verde intensivo configura la copertura come un vero giardino pensile, richiedendo, pertanto, maggiori oneri, sia per quanto riguarda le spese di installazione che la complessità delle opere di manutenzione, così come maggiori sono anche i costi dei substrati ed i carichi sollecitazioni. Principalmente lo spessore, la massa e la natura dello strato colturale rendono tali soluzioni difficilmente realizzabili su coperture di edifici esistenti. Il verde estensivo, al contrario, richiede costi iniziali minori, minori spessori, pesi, costi di gestione ed oneri manutentivi più bassi.

Le coperture a verde, diffuse soprattutto nell'Europa centrale e settentrionale, iniziano ad essere applicate di frequente anche nelle nostre condizioni climatiche. In particolare, lo stesso D.P.R. 59/2009 ne promuove la diffusione, riportandone la definizione e annoverandoli come sistema – *l'unico ad essere esplicitamente citato*, n.d.r. – atto a mitigare le rientrate termiche estive. Testualmente, il decreto recita: «[...] Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o trasmittanza termica periodica delle pareti opache, possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde». Ancora si fa riferimento ai tetti verdi nelle definizioni di cui all'articolo 2 del medesimo decreto.

È da notare che, seppur sia indubbia la capacità, da parte dei tetti verdi, di attenuare la trasmissione del calore dall'esterno verso l'interno, essendo favorito il raffrescamento evaporativo e l'assorbimento di energia solare necessario per alimentare i processi vegetativi delle colture (oltre ai benefici indotti dalla presenza di massa termica aggiuntiva, dovuta alla presenza di uno strato di terreno pressoché saturo), la determinazione quantitativa di tali benefici indotti richiede opportuni metodi numerici, essendo non idonea una valutazione mediante le procedure di calcolo contenute nelle norme tecniche cui lo stesso D.P.R. 59/2009 rimanda.

Oltre ai benefici “energetici” estivi (capacità termica, assorbimento sensibile per fotosintesi, raffreddamento per evapo-traspirazione) altri vantaggi connessi all'utilizzo di tali sistemi concernono il miglioramento del potere fonoisolante del tetto, un migliore filtraggio delle polveri, la protezione degli strati impermeabilizzanti e il minore carico sulla rete fognaria durante i picchi di pioggia.

b) Pareti ventilate

Con il termine “facciate ventilate” si intende un insieme di soluzioni tecniche, anche molto differenti tra loro, accomunate dalla presenza di un'intercapedine d'aria tra un involucro edilizio interno ed un involucro esterno. Le facciate ventilate sono usualmente classificate in funzione del tipo di superfici che le racchiudono:

- 1) paramenti murari opachi;
- 2) pareti vetrate e facciate continue.

In realtà, sono possibili molteplici altre classificazioni, ad esempio in funzione del tipo di ventilazione (naturale, meccanica, naturale con supporto di ventilatori), origine del flusso d'aria (dall'interno, dall'esterno), destinazione del flusso d'aria (verso l'interno o verso l'esterno), verso di percorrenza della corrente (verso l'alto, o verso il basso in caso di ventilazione meccanica), larghezza dell'intercapedine (stretta – fino a 20 cm, larga – fino a 2 metri).

Nella breve descrizione che segue, prima di sottolineare – mediante esempi numerici di confronto – la necessità di strumenti di calcolo adeguati, la presentazione di tale tecnologia è differenziata in funzione della classificazione più consueta (Figura 3) e cioè *pareti ventilate opache* e *pareti ventilate trasparenti*.

b.1) Pareti ventilate opache

Il principale obiettivo della progettazione di tali sistemi consiste nel contenere le rientrate termiche estive indotte dall'irraggiamento solare sulle superfici opache dell'involucro edilizio. In più, in inverno, tali murature presentano anche tutti i benefici delle pareti coibentate “a cappotto”.

La facciata ventilata opaca, naturalmente ventilata, è generalmente costituita dai seguenti strati, secondo la numerazione riportata in Figura 4:

- 1) Paramento murario esterno;
- 2) Sottostruttura ed intercapedine;
- 3) Isolante termico;
- 4) Paramento murario interno.

In regime estivo, il moto ascendente dell'aria nell'intercapedine è dovuto all'effetto camino che si genera all'interno della camera d'aria. In particolare, il riscaldamento dell'intercapedine determina il moto convettivo dell'aria, che si riscalda all'interno della cavità e si sposta verso la parte alta. L'aria esterna che entra dal basso per depressione, riscaldandosi risale la cavità (raffrescandola), per poi uscire dalle feritoie poste superiormente.

In regime invernale, una facciata ventilata opaca non presenta vantaggi energetici rispetto a quanto ottenibile mediante pareti tradizionali, anzi, tende a essere perso il seppur esiguo guadagno solare. In ogni caso, tale soluzione, anche in inverno, continua a presentare vantaggi pratico/tecnologici, quali, ad esempio, la protezione dell'isolante termico da pioggia, l'aerazione dell'intercapedine che evita il ristagno di vapore e condensa, l'isolamento continuo con eliminazione di ponti termici.

In teoria, eventuali serrande, poste sulle griglie di aerazione inferiori e superiori, potrebbero consentire la “chiusura” dell'intercapedine. In tal modo, sarebbe possibile avere all'interno della camera d'aria temperature dell'aria maggiori

A&RT

Figura 1. Coperture e verde multi- e mono-strato.



Figura 2. Verde pensile estensivo ed intensivo.



Figura 3. Pareti ventilate opache (Vented Walls) e trasparenti (DSF - Double Skin Facade).



Figura 4. Trasmissione del calore attraverso componenti opachi di involucro.



di quelle esterne, grazie al riscaldamento della cavità indotto dalla radiazione solare sul paramento esterno. In pratica, l'assemblaggio delle lastre esterne, di grandi dimensioni, determina presenza di giunti – per quanto riempiti con colle e prodotti siliconici – non a tenuta d'aria, ragione per cui tale obiettivo non è comunemente cercato e/o raggiunto. La giunzione tra le lastre del paramento esterno (pietra, pannelli metallici o ceramici), la larghezza dell'intercapedine, il regime di ventilazione che si instaura nella cavità, l'intensità della radiazione solare sono parametri molto influenti sulla prestazione del sistema, per cui è necessaria una progettazione attenta alle specificità del contesto.

b.2) Pareti ventilate trasparenti

L'involucro edilizio trasparente è elemento spesso critico della progettazione architettonica, poiché il vetro presenta una elevata conduttività termica ($\lambda \approx 1 \text{ W/mK}$) e la radiazione solare incidente è in larga parte ($\approx 80\%$) trasmessa all'interno dell'edificio.

Le due ragioni sopra esposte rendono critici gli scambi energetici tra ambiente interno ed ambiente esterno in entrambe le stagioni climatiche, inducendo elevate dispersioni in

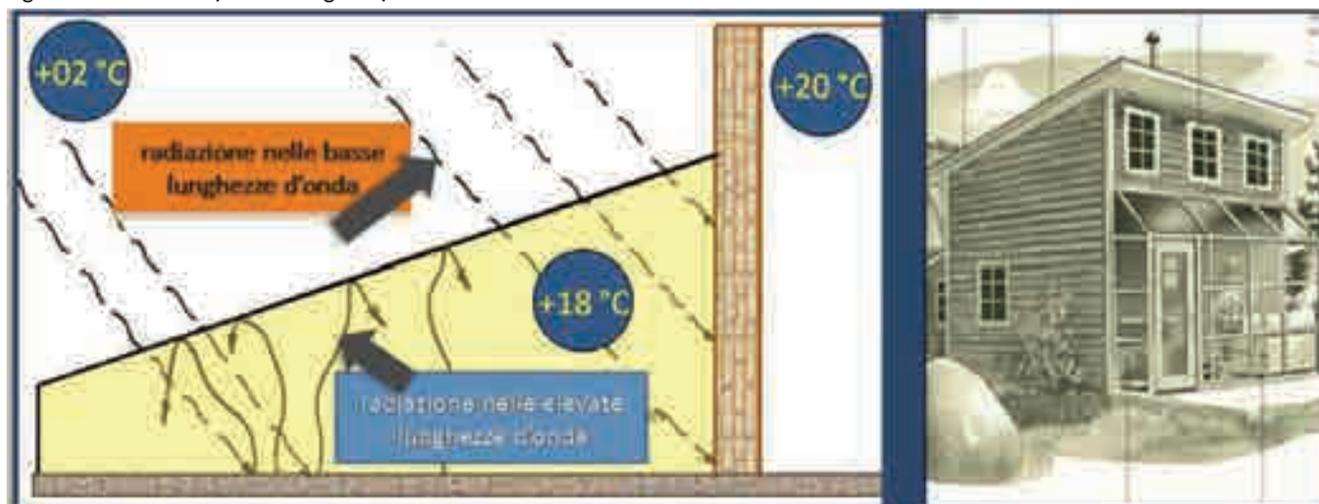
inverno e penalizzanti contributi positivi al carico termico in regime estivo. La produzione architettonica contemporanea, soprattutto nel settore terziario (uffici, commercio, Figura 5) fa largo uso di trasparenze, ragione per cui si rendono necessarie soluzioni tecnologiche idonee a gestire e migliorare le prestazioni delle vetrate.

L'obiettivo principale di facciata ventilata trasparente consiste nel governare e gestire meglio, rispetto ad una facciata in vetro singolo, il surriscaldamento estivo degli ambienti per irraggiamento diretto, le dispersioni energetiche invernali (trasmissione ed irraggiamento), le interferenze acustiche con l'ambiente esterno, la ventilazione degli ambienti. Una DSF (i.e., *Double Skin Facade*, identificativo internazionale per le facciate ventilate trasparenti) è costituita da un doppio involucro edilizio vetrato. Entrambi i paramenti vetrati, interno ed esterno, devono essere dotati di griglie di ventilazione, al fine di variare l'assetto del sistema per determinare una ventilazione atta al raffrescamento o al riscaldamento degli ambienti. Secondo quanto detto, immediatamente è necessario distinguere tra comportamento estivo ed invernale, essendo diversa l'efficacia energetica ottenibile e anche gli obiettivi che si intendono perseguire.

Figura 5. Chiusure vetrate tradizionali e Double Skin Facade.



Figura 6. Serre Solari: fenomenologia di funzionamento



A&RT

In regime invernale:

- se l'intercapedine è chiusa, si innesca effetto serra in cavità e, pertanto, si innalza la temperatura dell'aria ivi contenuta. In definitiva, diminuisce la dispersione in quanto si riduce il ΔT . La chiusura della cavità, inoltre, incrementa anche la resistenza termica dell'involucro edilizio.

In regime estivo:

- edificio climatizzato: l'aria di espulsione (dall'ambiente a temperatura controllata) è introdotta, dall'interno, dentro l'intercapedine, mediante le griglie poste sul lato interno in basso. Tale aria, riscaldandosi all'interno della cavità, sale per effetto camino ed è espulsa all'esterno dalle griglie superiori. In tal modo si crea un vano "buffer", a temperatura intermedia, tra interno ed esterno. Tale condizione d'uso facilita l'estrazione dell'aria e raffresca l'intercapedine.
- edificio non climatizzato: la ventilazione della cavità è normalmente realizzata con apertura delle griglie di ventilazione esterne sottostanti ed apertura di quelle superiori esterne; l'obiettivo è raffreddare la cavità. Quando gli schermi – assolutamente necessari – sono interni all'intercapedine, tale tipo di ventilazione consente anche di smaltire l'energia re-irradiata nell'infrarosso dalle lamelle.

c) Serre solari

I sistemi architettonici definiti serre solari sono costituiti da verande chiuse, esposte a Sud, sud-ovest o sud-est, separate dall'ambiente esterno da pareti vetrate con presenza di aperture. Specifiche tipologie costruttive possono prevedere anche la trasparenza della copertura, in funzione delle specifiche condizioni di esposizione, delle coordinate geografiche, del percorso solare e della intensità della radiazione.

Comunemente, le serre solari funzionano sia come sistema a guadagno solare diretto che ad accumulo. Le vetrate di separazione tra ambiente interno alla serra ed ambiente esterno sono trasparenti alla radiazione solare ($g_{\perp} = 80\%$), opache rispetto alle lunghezze d'onda dell'infrarosso (i.e., lo spettro che caratterizza la radiazione emessa dalle superfici alle temperature di interesse). Per tale ragione, la radiazione solare entra nella serra, riscalda le superfici opache dell'ambiente (pavimento, arredi, pareti interne) e resta all'interno dell'ambiente, poiché tali superfici emettono ad elevate lunghezze d'onda, rispetto alle quali la serra si comporta da involucro opaco (Figura 6).

In regime invernale, i meccanismi di scambio termico per conduzione tra edificio e ambiente sono indotti dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno e saranno più o meno rilevanti in funzione della trasmittanza termica della superficie di separazione. Pertanto, al variare

della resistenza termica della vetrata, variano le perdite energetiche dell'abitazione (dispersioni termiche).

Le vetrate sono caratterizzate da bassi spessori (4-6 mm) ed elevata conducibilità, cosicché le superfici trasparenti determinano dispersioni molto più ingenti rispetto a quelle che caratterizzano un involucro opaco. Obiettivo di una serra solare è fare in modo che il guadagno solare (flussi energetici entranti nell'edificio) sia più ingente della dispersione (flusso energetico uscente), in ogni caso significativa.

Il rapporto guadagno solare / dispersione per conduzione non è indifferente alla regione climatica e all'esposizione delle vetrate e ciò determina la variazione nei criteri progettuali. Ad esempio, se adeguatamente concepita, una serra solare può essere realizzata anche sui prospetti est ed ovest in zona climatica B o C, mentre tale cosa non è fattibile all'aumentare dei gradi giorno invernali.

Nei mesi estivi, il guadagno solare deve invece essere limitato, al fine di contenere il surriscaldamento degli ambienti e, conseguentemente, la richiesta energetica degli impianti di climatizzazione. Pertanto, la serra deve essere schermata con sistemi esterni e ventilata con aria esterna poi espulsa. Opportune schermature sono quelle esterne mediante aggetti orizzontali posti al di sopra della serra, in quanto, considerando il moto apparente del sole rispetto alla terra:

- *in inverno, il sole è basso sull'orizzonte, cosicché lo schermo non intercetta i raggi solari perpendicolari alla vetrata;*
- *in estate, l'intensa radiazione solare è caratterizzata da raggi molto alti, cosicché l'aggetto orizzontale schermo la radiazione diretta.*

In inverno, l'energia solare che è penetrata all'interno della serra può essere sfruttata sia in modo diretto che indiretto. Nel primo caso, un sistema di ventilazione (*facilmente gestibile anche se "naturale"*) veicola l'aria calda della veranda verso gli ambienti interni dell'edificio. Nel caso di sistemi d'accumulo (pareti massive), lo sfruttamento dell'energia solare è differito nelle ore della sera, essendo l'energia del sole accumulata in strutture e pavimenti interni che la rilasciano sfasata nel tempo.

3. Le nuove tecnologie, la legislazione e la normativa tecnica italiana

Come anticipato nell'introduzione di questo studio, la stessa legge italiana, ad oggi, spinge verso il ricorso ai sistemi solari passivi, sia per il miglioramento delle prestazioni energetiche invernali che con riferimento alla stagione estiva. Oltre al citato D.P.R. 59/2009, che richiama esplicitamente le coperture verdi come sistema per la riduzione del fabbisogno frigorifero nella stagione calda, già il decreto legislativo 192/2005, al comma 13 dell'allegato I riportava: «[...] per tutte le categorie di edifici [...] al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli

ambienti [... il progettista ...] utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive [...] può prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione meccanica [...]. Gli effetti positivi possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi [...].»

Ancora, seppur con delle limitazioni relative agli spessori scomputabili, il decreto legislativo 115/2008 riporta: «Nel caso di edifici di nuova costruzione e riqualificazioni [...] il maggior spessore dei solai e tutti i maggiori volumi e superfici necessari ad ottenere una riduzione minima del 10% dell' EP_1 non sono considerati nei computi per la determinazioni dei volumi, delle superfici e nei rapporti di copertura [... Inoltre] è permesso derogare in merito alle distanze minime tra edifici, alle distanze minime di protezione del nastro stradale, nonché alle altezze massime degli edifici».

Stante la spinta, da parte del Legislatore, a migliorare la prestazione energetica dell'involucro edilizio, anche ricorrendo a soluzioni tecniche non tradizionali (la qual cosa, inoltre, favorisce l'evoluzione delle tecniche costruttive), è da notare l'assenza, o quanto meno l'inadeguatezza, della normativa tecnica atta a ad apprezzare compiutamente gli effetti "energetici", benefici o negativi, indotti dall'adozione di tali tecnologie.

Infatti, facendo esclusivo riferimento alle soluzioni d'involucro citate in questa memoria, gli unici riferimenti progettuali per tali tecnologie sono contenuti nei seguenti standard normativi:

- UNI 11235:2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*. È la norma di riferimento per la progettazione di green roof. Non consente, però, alcuna valutazione degli aspetti energetici, trattando, infatti, solo regole di progettazione/installazione;
- UNI EN ISO 13790:2008, *Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling*. Senza esclusivo riferimento a serre solari o pareti ventilate trasparenti, propone procedura di calcolo, generica per tutti i "sumspaces", attraverso 3 approcci, uno standard, uno conservativo ed uno dettagliato. Ad ogni buon conto, non si valuta la reale T dell'ambiente "serra" o "cavità della DSF";
- UNI TS 11300, UNI 10375, UNI EN ISO 13786, UNI EN ISO 6946 ed UNI 7357. Non consentono una compiuta determinazione degli scambi termici attraverso componenti di involucro in cui si sfrutta l'effetto camino quale strumento per ventilare cavità d'aria interne alla muratura. Nel caso di pareti ventilate opache, la ventilazione della cavità non influisce semplicemente sulla resistenza termica della parete, bensì rappresenta il fattore che maggiormente condiziona lo scambio termico.

In maniera provvida, il legislatore ha previsto l'assenza di strumenti procedurali adeguati – per cui, all'articolo 4 del D.P.R. 59/2009 si dice:

- Comma 26: «I calcoli e le verifiche necessari al rispetto del presente decreto sono eseguiti utilizzando metodi che garantiscano risultati conformi alle migliori regole tecniche. Si considerano rispondenti a tale requisito le norme tecniche predisposte dagli organismi deputati a livello nazionale o comunitario, quali ad esempio l'UNI e il CEN»;
- Comma 27: «L'utilizzo di altri metodi, procedure e specifiche tecniche sviluppati da organismi istituzionali nazionali, quali l'ENEA, le Università o gli Istituti del CNR, è possibile, motivandone l'uso nella relazione tecnica di progetto».

Il gruppo di Fisica Tecnica dell'Università degli Studi del Sannio – DING, con la collaborazione del gruppo di trasmissione del calore del DETEC dell'Università di Napoli Federico II, all'interno di una convenzione di ricerca con la ACCA Software S.p.A., ha sviluppato opportune metodologie di calcolo congrue alla valutazione dei fenomeni di scambio energetico indotti dall'utilizzo di tali tecnologie. In particolare:

- 1) *Tetti verdi* → si contemplano congruamente l'inerzia termica della struttura, lo sfasamento temporale e l'attenuazione del flusso termico da essa indotti, l'evapotraspirazione di terreno e vegetazione, il rapporto di copertura a verde (LAI), la resistenza degli stomi, e tutti i parametri che concorrono a trasformare un carico radiativo in calore latente smaltito per evaporazione e/o fotosintesi;
- 2) *Serre solari e Pareti ventilate trasparenti* → si valuta, mediante opportuni algoritmi di calcolo, la temperatura all'interno dello spazio solare, sia esso cavità della DSF o serra, valutando l'innalzamento della $T_{interna}$ indotto dall'effetto serra e dalle interflessioni radiative interne all'ambiente;
- 3) *Pareti ventilate opache* → Il principio di funzionamento è connesso in primo luogo allo "stack effect" interno alla cavità areata. È, pertanto, quantificato l'effetto camino.

4. Necessità di metodi di calcolo accurati: esempi numerici

Nelle righe che seguono si riportano alcuni confronti tra i risultati numerici ottenuti adottando metodi di calcolo semplificati o accurati, finalizzati alla valutazione energetica di componenti innovativi di involucro edilizio.

a) Tetti verdi

Il confronto è effettuato ipotizzando i seguenti criteri progettuali e condizioni al contorno: conduttanza termica del solaio = $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, altezza vegetazione = 50 cm, tipo

A&RT

di vegetazione = coltura irrigua, spessore terreno = 45 cm, tipo terreno = argilloso, superficie solaio = 25 m², Leaf Area Index = 2,0. Già dal semplice elenco delle condizioni al contorno si può comprendere come non considerare tali grandezze, e quindi valutare solo la resistenza termica addizionale indotta dagli spessori del terreno e della vegetazione (quello, cioè, che farebbe un progettista che opera mediante ricorso alle norme tecniche attualmente a disposizione), possa essere fuorviante, non essendo contemplate le evenienze che determinano la prestazione energetica di una copertura verde, e quindi:

- l'evapo-traspirazione di coltura e terreno;
- la fotosintesi clorofilliana;
- la capacità termica della struttura e la collegata costante di tempo.

Dai confronti tra metodologie di calcolo, così come riportati in Tabella 1, emerge come algoritmi semplificati producano risultati fortemente distanti dalla realtà, denunciando rientrate termiche stagionali significative attraverso la copertura verde, quando, invece, la reale modellazione di un green roof determina valutazioni energetiche secondo cui l'energia entrante in regime estivo è quantitativamente trascurabile se non addirittura uscente.

b) Pareti ventilate opache

Anche in questo caso, sono stati eseguiti confronti tra metodologie di calcolo approssimate (ricorso alla valutazione della resistenza termica indotta dalla presenza di intercapedine mediante norme UNI 6946 e/o UNI 7357) rispetto alle prestazioni derivanti da analisi rigorose (algoritmi appositamente sviluppati). Nel caso di calcolo approssimato, non è modellabile una parete ventilata, per cui un progettista tenderebbe a definire tale sistema come

una semplice parete che ha le medesime caratteristiche della ventilata in progetto, per quanto riguarda conducibilità, spessori, densità e calore specifico degli strati, modellando la sezione di ventilazione come un'intercapedine areata. Nel calcolo rigoroso, invece, sono definiti i parametri termo-fisici e geometrici tali da indurre variazione delle forzanti alla cui base avviene lo "stack effect" (ventosità, dimensione e geometria delle aperture, geometria dell'intercapedine, conducibilità e termo-fisica di materiali e strati). I risultati del confronto, condotti per il mese di luglio in diverse località climatiche italiane, sono riportati in Tabella 2. Emerge che:

- in inverno, esaminare una parete ventilata – secondo procedure approssimate – non consente di valutare i reali benefici conseguibili dall'adozione di tale soluzione tecnologica;
- in regime estivo, un esatto calcolo della parete ventilata consente una corretta valutazione del flusso termico entrante, inferiore, rispetto al modello di parete con intercapedine ventilata, di circa il 35%-70% al variare del contesto climatico.

In particolare, la nota maggiormente significativa che scaturisce consiste nella constatazione che un metodo approssimato non consente di contemplare quello che è il reale fenomeno caratterizzante la parete ventilata, e cioè l'effetto camino che produce uno smaltimento, per scambio termico convettivo, dell'energia accumulata in cavità per effetto della radiazione solare.

La valutazione dell'esatta portata di ventilazione (condizionata da temperature esterne, termo-fisica dei materiali e, soprattutto, irradiazione) richiede un algoritmo di calcolo evoluto.

c) Pareti ventilate trasparenti

Una prima analisi ha previsto simulazioni condotte con condizioni esterne, riferite all'intera stagione invernale,

Tabella 1. Confronto tra metodi di calcolo per Tetti Verdi (Luglio, Bologna, Napoli e Siracusa).

	Metodi Approssimati	Metodi Accurati	Variazione
	Q_{cond} [kWh/m ²]	Q_{cond} [kWh/m ²]	[%]
Napoli	61,99	-17,09	-127,56
Siracusa	84,82	0,73	-99,13
Bologna	85,53	2,21	-97,41

Tabella 2. Confronto tra metodi di calcolo per Pareti Ventilato Opache (Luglio, Bologna, Napoli e Siracusa).

	Metodi Approssimati	Metodi Accurati				
	Q_{cond} [kWh/m ²]	T_{conv} [°C]	V_{conv} [m ³ /s]	$T_{acciaio$ [°C]	Φ_{equiva} [°C]	Q_{cond} [kWh/m ²]
Bologna	20,42	25,54	0,1260	27,27	11,95	8,60 (-58%)
Napoli	31,04	26,85	0,1258	28,53	23,08	17,10 (-45%)
Milano	18,62	25,25	0,1264	27,03	9,69	6,97 (-63%)
Siracusa	27,80	26,35	0,1263	28,10	19,76	14,20 (-49%)

proprie della città di Napoli. Si tratta di un modello di DSF posta sul fonte Sud di un edificio bi-piano. Le dimensioni esterne del fabbricato sono pari a m 26 x 12,5 in pianta, con un'altezza di interpiano pari a 4 m. Le pareti perimetrali sono costituite da tamponatura coibentata. Anche in questo caso il confronto è stato fatto mediante valutazione delle prestazioni derivanti da calcolo approssimato (il progettista, non disponendo di procedure unificate, modella la DSF come vetrocamera multi-lastra) e quelle derivanti dall'applicazione di metodi accurati (tali da valutare l'effetto della dell'intercapedine larga e dell'effetto serra che in essa si instaura).

Dai risultati, riportati in Tabella 3, emerge un'evidente differenza quantitativa degli apporti solari, minori nell'edificio con esatto modello di facciata ventilata, a causa della perdita di parte di essi dovuta all'introduzione di una ulteriore vetrata e quindi di un aggiuntivo fattore di telaio.

Rilevante è la riduzione delle dispersioni totali per trasmissione, nel caso di modello accurato, a dimostrazione dell'effetto positivo prodotto dall'introduzione della parete ventilata, che determina non più dispersioni energetiche tra ambiente interno ed ambiente esterno ma tra

ambiente interno e cavità, all'interno della quale la temperatura, a causa dell'effetto serra ivi verificatosi, risulta prossima – o solo lievemente inferiore – a quella di progetto per l'interno dell'edificio.

In conclusione, il bilancio netto globale invernale risulta favorevole nell'edificio con modello accurato di facciata ventilata, per l'evidente riduzione del fabbisogno energetico invernale. In dicembre, ad esempio, si registra una temperatura media di cavità pari a 17,5°C.

Il metodo rigoroso, per tutti i mesi, determina risultati migliorativi da parte della DSF rispetto a metodi approssimati. Ciò, estendendo il bilancio all'intero edificio, comporta una minore esigenza di riscaldamento. Estendendo i confronti a Roma e Milano, la modellazione di DSF invece che semplici vetrate determina prestazioni invernali significativamente migliori. Si riducono, infatti, i guadagni solari, ma diminuiscono drasticamente le perdite per trasmissione.

Anche in questo caso, sia per ottimizzare la progettazione – *ad esempio evitando criticità estive* – sia per valutare correttamente le prestazioni, emerge la necessità di ricorso a strumenti di calcolo rigorosi.

Mese	Metodi Approssimati			Metodi Accurati		
	Q_{in} [kWh/m ²]	Q_{out} [kWh/m ²]	Q_{net} [kWh/m ²]	Q_{in} [kWh/m ²]	Q_{out} [kWh/m ²]	Q_{net} [kWh/m ²]
Novembre	-3,8	7,0	3,2	-1,5	6,9	5,4
Dicembre	-8,2	12,8	4,6	-4,5	11,3	6,8
Gennaio	-7,6	14,5	6,9	-5,4	12,8	7,4
Febbraio	-6,8	14,6	7,8	-4,6	12,9	8,3
Marzo	-5,3	16,9	11,6	-3,2	14,9	11,7

Tabella 3. Confronto tra metodi di calcolo per Pareti Ventilata Trasparenti (Intero inverno, Napoli).

Ipotesi 1	Ipotesi 2	Ipotesi 3
Metodo Semplificato Serra con Tetto Opaco	Metodo Accurato Serra con Tetto Opaco	Metodo Accurato Serra con Tetto Trasparente
Considero un fattore di correzione per il ΔT_{ex}	La superficie superiore è opaca, spessa 10 cm e $\lambda = 1 \text{ W/mK}$	La superficie superiore ha la classe della vetrata
Risultati	Risultati	Risultati
$T_{int} = 15,93 \text{ °C}$ $\Phi_{in} = -105,16 \text{ W}$ $\Phi_{out} = 231,70 \text{ W}$ $Q_{in} = -70,67 \text{ kWh}$ $Q_{out} = 155,75 \text{ kWh}$ $Q_{net} = + 85 \text{ kWh}$	$T_{int} = 15,93 \text{ °C}$ $\Phi_{in} = -40 \text{ W}$ $\Phi_{out} = 141 \text{ W}$ $Q_{in} = -26,89 \text{ kWh}$ $Q_{out} = 94,75 \text{ kWh}$ $Q_{net} = + 67,9 \text{ kWh}$	$T_{int} = 24,3 \text{ °C}$ $\Phi_{in} = 43 \text{ W (entrante)}$ $\Phi_{out} = 177 \text{ W}$ $Q_{in} = 29 \text{ kWh}$ $Q_{out} = 119 \text{ kWh}$ $Q_{net} = + 148 \text{ kWh}$

Tabella 4. Confronto tra metodi di calcolo per Serra Solare (Febbraio, Bologna).

	Φ_{in} [W]	Φ_{out} [W]	T_{int} [°C]
Bologna	43,0	177,0	24,3
Torino	22,5	136,4	22,3
Milano	31,7	137,6	23,3
Napoli	140,3	168,4	34,0
Roma	120,1	169,3	32,0
Napoli (tetto opaco)	35,8	138,9	23,6
Palermo (tetto opaco)	82,6	177,1	28,3

Tabella 5. Serra Solare, estensione del confronto ad altre città italiane.

A&RT

d) Serre solari

I primi confronti sono condotti per la città di Bologna nel mese di febbraio. Si considera una serra solare esposta a sud, con un volume di 50 m³. La copertura della serra è inclinata di 13° rispetto l'orizzontale. La parte opaca è realizzata in mattoni, la parte vetrata, invece, è in vetro semplice. I confronti tra metodi di calcolo sono riportati in Tabella 4.

Oltre a risultati fortemente diversi in funzione dell'utilizzo di metodi approssimati o accurati, dalla analisi emerge anche un criterio progettuale. Infatti, in Tabella 4 emerge come le prestazioni migliori competano alla terza ipotesi, in cui, al fine di incrementare il guadagno solare, il progetto prevede anche trasparenza della copertura.

Ripetendo i calcoli in altre località, emerge, per Napoli e Palermo (Tabella 5), una criticità progettuale derivante dall'adozione di tetto trasparente – che invece, a Milano, Bologna e Torino – rappresentava soluzione migliore relativamente alle temperature dell'aria interne alla serra. Pertanto, per tali città, si è ritornati alla progettazione con tetto opaco, rendendo nuovamente accettabili i livelli termici nella veranda.

In definitiva, il metodo di calcolo adeguato consente anche ottimizzazione progettuale.

Conclusioni

Nel lavoro si evidenzia come, laddove si ricorra alla progettazione, installazione o valutazione energetica di componenti innovativi di involucro – ed in particolare allorquando spazi soleggiati, inerzie termiche significative, attivazione della massa termica, effetto camino, fenomeni di evapo-traspirazione non sono apprezzabili in regime stazionario – risulta imprescindibile il ricorso a procedure di calcolo dettagliate, in mancanza di cui non si apprezza, e quindi mal si progetta, tali sistemi di involucro.

Tale aspetto non è secondario. Ad oggi, infatti, la legislazione energetica italiana favorisce – mediante incentivazioni economiche, in termini di bonus volumetrici o attraverso altri benefits – il ricorso a tali tecnologie, purché determinino prestazioni energetiche tali da migliorare e quindi ridurre le richieste di utilizzo di impianti di riscaldamento e/o climatizzazione.

Calcoli approssimati producono errate valutazioni, in termini di: benefici dovuti e non concessi, benefici non dovuti e riconosciuti, errata progettazione, costruzione di scenari prestazionali non veritieri. Invero, contemplando la possibile assenza di procedure di calcolo standardizzate, la legislazione italiana consente l'uso di metodologie di calcolo alternative, purché sviluppate da Istituti di ricerca ed Università, e tali da fornire risultati validi dal punto di vista del metodo e realistiche nei risultati.

In questo studio, si riporta un breve stato dell'arte e analisi di alcuni casi studio esemplificativi.

L'Energy Modelling

The Energy Modelling

ENRICO FABRIZIO

Recentemente la simulazione termoenergetica dinamica sta riscuotendo un sempre maggiore interesse in ambito scientifico ed una maggiore applicazione in ambito professionale. Ciò è dovuto a molti fattori tra cui la diffusione di codici di calcolo sempre più dettagliati e liberamente disponibili in rete, lo studio di modelli di simulazione di componenti edilizi ed impiantistici innovativi, l'esigenza di rispettare requisiti di prestazione energetica di lungo periodo imposti, o comunque tali da attribuire un punteggio, all'interno di linee guida e protocolli di valutazione della sostenibilità delle costruzioni. Riguardo a quest'ultimo punto si può citare ad esempio il protocollo LEED il quale stabilisce che la prestazione energetica dell'edificio oggetto di certificazione sia confrontata rispetto ad un edificio di riferimento attraverso simulazione termoenergetica dinamica annuale effettuata ai sensi della norma statunitense ASHRAE 90.1. In questo lavoro vengono illustrate le basi del calcolo, la svariata serie di applicazioni e le prospettive future della simulazione termoenergetica dinamica degli edifici.

Enrico Fabrizio, architetto, dottore di ricerca in Energetica presso il Politecnico di Torino e in Génie Civil presso l'INSA de Lyon, è ricercatore presso l'Università di Torino.
enrico.fabrizio@unito.it

Dynamic building energy simulation is latterly gaining increasing interest in both the scientific community and the professionals. This is due to many factors, including the availability of computer codes extremely detailed and freely available, the development models for innovative building components and systems, the need to meet performance requirements that are imposed, or otherwise are likely to be given a score, by guidelines and protocols for assessing sustainable buildings. On this last point, the LEED protocol can be mentioned. It states that the building energy performance of the building to be certified should be compared with respect to a reference building through dynamic simulation conducted in accordance with the U.S. standard ASHRAE 90.1. This paper discusses the bases of the calculations, the various applications and future prospects of the dynamic building energy simulation.

«Simulation-based information has the potential to improve competitiveness, productivity, quality and efficiency in the construction industry as well as facilitating future innovation and technological progress»¹

1. La modellazione energetica degli edifici

La modellazione energetica di un edificio può avvenire seguendo un processo di tipo diretto o uno di tipo inverso.

Nel processo diretto (*forward modelling*) un modello di calcolo è costruito sulla base della conoscenza delle leggi fisiche che regolano il sistema oggetto di analisi; inserendo gli opportuni dati di ingresso e condizioni al contorno, si ottengono i dati di uscita (risultati) richiesti. Questo tipo di approccio ha portato alla costruzione di modelli via via più complessi aumentando progressivamente il grado di dettaglio dei modelli di rappresentazione dei fenomeni fisici che si

A&RT

volevano descrivere.

Nel processo inverso (*inverse modelling*) un modello di calcolo è costruito sulla base della conoscenza di dati di ingresso e dati di uscita che caratterizzano il sistema oggetto di analisi: tali modelli vengono infatti anche chiamati modelli governati dai dati, e la loro determinazione *system identification*. Una volta costruito, il modello può essere alimentato con gli opportuni dati di ingresso (diversi da quelli utilizzati per la sua costruzione) e fornire i dati di uscita (risultati) richiesti. Questo tipo di approccio è stato fino ad oggi marginalmente utilizzato nel campo della *building simulation*, ma il suo uso è destinato a crescere soprattutto nei casi in cui si voglia simulare la prestazione di edifici esistenti.

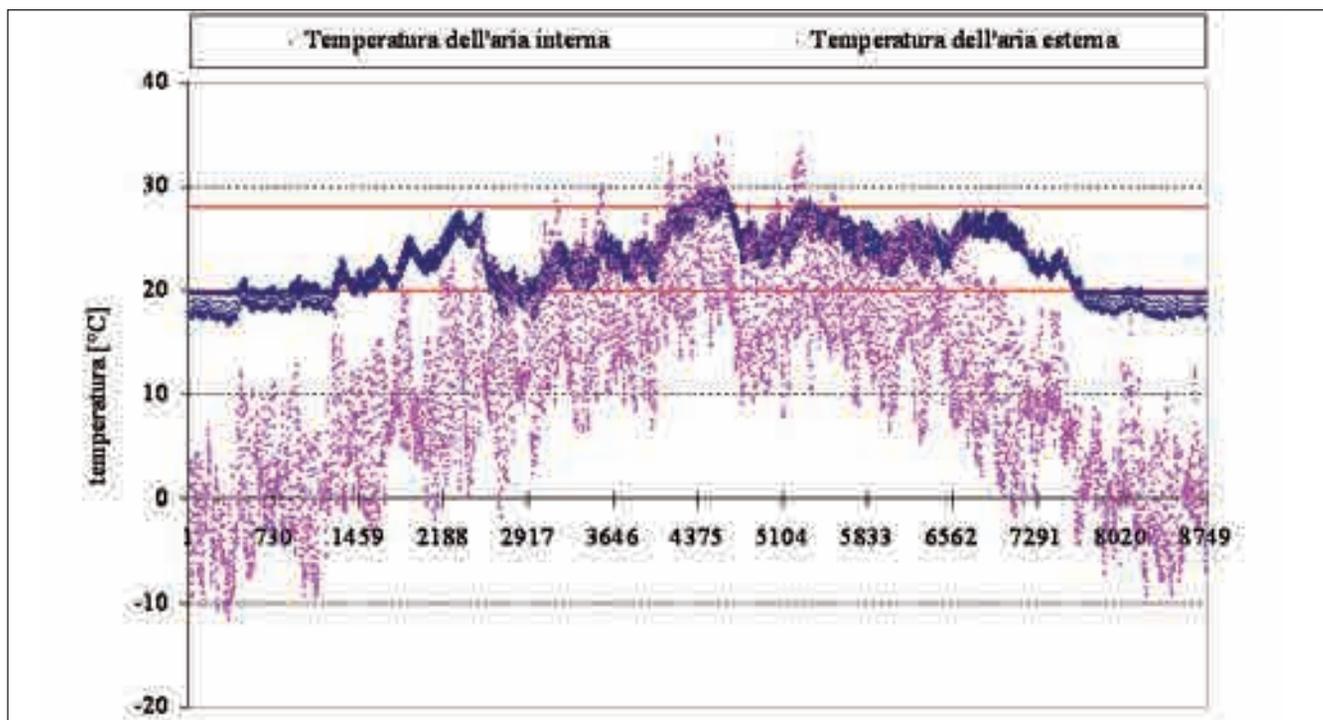
Quanto agli algoritmi che si utilizzano per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici è possibile distinguere modelli di calcolo basati sulle funzioni di trasferimento, modelli ai volumi finiti, modelli regressivi, modelli stocastici, reti neurali e algoritmi genetici.

Una funzione di trasferimento è un algoritmo in grado di legare le sollecitazioni (ad es. temperature, flussi termici) indotte su un sistema con la risposta del sistema stesso. Nel metodo TFM (*transfer function method*), vengono utilizzate funzioni di trasferimento della parete (CTF, *conduction transfer function*) per il calcolo del flusso termico trasmesso per conduzione all'interno delle varie pareti d'involucro, funzioni di trasferimento "ambiente" (RTF, *room transfer function*) per valutare il flusso termico convettivo che deve essere fornito all'aria ambiente, e funzioni di trasferimento "impianto" (SATF, *space air transfer function*) per valutare il flusso termico che deve essere fornito dall'impianto di climatizzazione.

Nella più recente versione del manuale ASHRAE Fundamentals, al metodo TFM è stato sostituito un metodo che fa uso delle sole funzioni di trasferimento CTF per la valutazione del flusso termico trasmesso per conduzione attraverso l'involucro in regime dinamico, mentre applica il bilancio termico sull'aria ambiente (AHB, *air heat balance*) per quanto riguarda la valutazione del flusso termico che dev'essere fornito all'ambiente per mantenere una certa temperatura. Tale modello di calcolo è quello adottato ad esempio dai software di simulazione termoeconomica EnergyPlus e TRNSYS.

Nei metodi ai volumi finiti² il sistema continuo oggetto di analisi – il dominio – viene suddiviso in un insieme di porzioni discrete (volumi di controllo) a ciascuna delle quali viene applicata una serie di equazioni di bilancio (conservazione della massa, conservazione dell'energia,...). In tale approccio è possibile migliorare la soluzione aumentando il grado di discretizzazione del dominio: l'aria interna ad un ambiente può ad esempio essere considerata come un unico volume di controllo (perciò con proprietà – temperatura, umidità, concentrazione di inquinanti ecc. – costanti) oppure suddivisa in molteplici volumi di controllo per studiarne ad esempio la stratificazione termica. Tale approccio risulta utile ad esempio nel caso della determinazione del flusso termico scambiato per conduzione attraverso una parete, in cui si viene a conoscenza dei valori di temperatura e flussi termici in corrispondenza delle separazioni tra un volume e l'altro, ovvero all'interno della parete. Tale modello di calcolo è quello adottato ad esempio dal software di simulazione termoeconomica ESP-r.

Figura 1. Valutazione lungo un intero anno (8760 ore) della temperatura dell'aria interna in un edificio passivo montano con indicazione delle temperature dell'aria esterna e della banda di accettabilità della temperatura interna (in rosso)(da E. Fabrizio, M. Filippi, *Sistema multienergia per un edificio a energia netta zero in clima alpino*, 64° Congresso ATI, L'Aquila - Montesilvano (PE), 8-11 settembre 2009, paper 4.15).



2. Le applicazioni

Le ragioni per cui viene utilizzata la simulazione termoe-nergetica dinamica sono molteplici, da quelle consolidate ormai da tempo quali:

- la determinazione dei carichi termici e frigoriferi dei vari ambienti e di un edificio per il progetto degli impianti di climatizzazione (calcolo di progetto);
- la determinazione dei consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento degli edifici per il rispetto di valori prestazionali imposti dalla legislazione e dei valori prestazionali tali da attribuire un punteggio all'interno di protocolli di valutazione della sostenibilità (calcolo di verifica dei consumi);

ad altre più recentemente emerse quali:

- le condizioni di comfort termico e di qualità dell'aria all'interno degli ambienti, in connessione con i consumi energetici richiesti³;
- il consumo elettrico per illuminazione artificiale (aspetto legato alle caratteristiche dell'edificio, allo sfruttamento degli apporti solari gratuiti e al consumo energetico per climatizzazione);
- le emissioni in atmosfera di inquinanti prodotti dall'esercizio degli impianti di produzione dei fluidi energetici di cui è dotato un edificio;
- la producibilità di impianti alimentati a fonti rinnovabili.

Per rispondere a tali quesiti si possono utilizzare specifici software di calcolo per ogni ambito di analisi (ad esempio il software per il dimensionamento degli impianti e il calcolo dei consumi, quello per il comfort termico, quello per la ventilazione naturale, quello per il solare termico, quello per il solare fotovoltaico ecc.) oppure utilizzare i più recenti e completi software di calcolo termoenergetico degli edifici che consentono di svolgere attraverso l'inputazione di un unico modello quasi tutti gli ambiti di analisi suddetti.

La maggiore criticità nell'utilizzo della simulazione dinamica a supporto del progetto di un edificio è connessa alla natura del processo progettuale, ed in particolare alla caratteristica di essere un processo integrato (la variazione di alcune caratteristiche

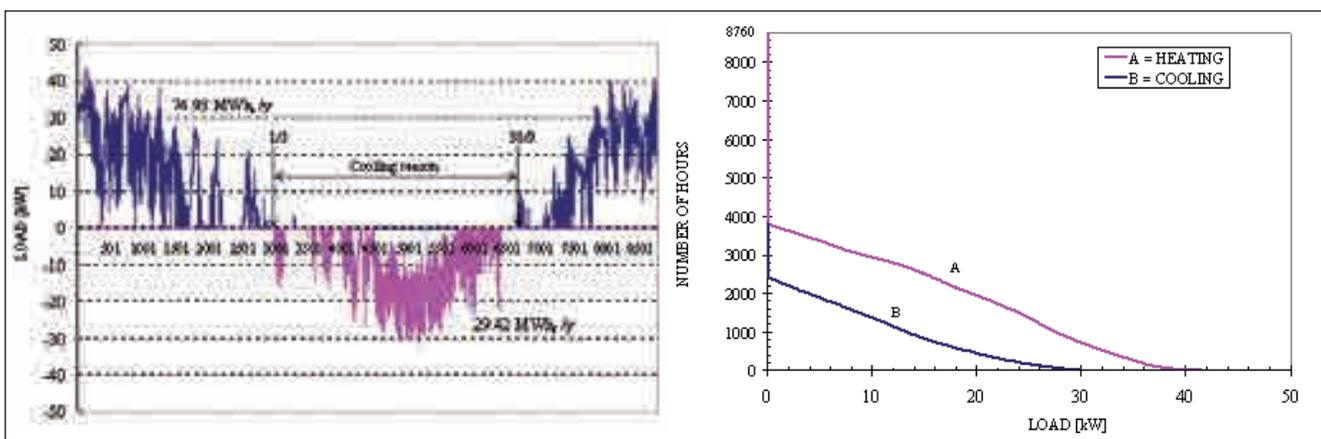
influenza molteplici ambiti di analisi) ed iterativo (si procede per variazioni successive). Ecco che, quantomeno per il primo aspetto, un valido aiuto arriva dai software integrati, in cui molteplici ambiti di analisi sono studiati a partire da un medesimo modello di calcolo costruito una sola volta.

Entrando nel dettaglio dei risultati che si possono ottenere, esclusivamente attraverso un modello di simulazione termoe-nergetica dinamica, si possono citare:

- lo studio dell'andamento orario della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria ambiente in assenza di controllo climatico artificiale (ambiente *free running*, Figura 1), aspetto fondamentale nella verifica del comportamento passivo di un edificio attraverso strategie di isolamento termico, inerzia termica, ventilazione, ombreggiamento ecc.;
- lo studio e il confronto tra prestazioni, energetiche e di comfort termico, di diverse soluzioni di involucro edilizio;
- lo studio dell'andamento orario dei carichi termici e frigoriferi di un edificio (sotto forma di profili orari o curve di frequenza cumulate), che consentono di valutare in cascata la prestazione dei sistemi energetici a servizio degli edifici (caldaie, pompe di calore, sistemi energetici integrati ecc., Figura 2);
- lo studio dell'andamento orario delle prestazioni (condizioni di lavoro, rese) di impianti di climatizzazione⁴ (ad aria, fan coils, radianti ecc.) in relazione alle caratteristiche dell'edificio e dei sistemi energetici (Figura 3);
- lo studio dell'andamento orario delle prestazioni (condizioni di lavoro, rese, rendimenti) dei sistemi energetici (caldaie, pompe di calore ecc.) a servizio di un edificio;
- lo studio delle prestazioni di accumuli di energia termica/frigorifera a servizio dei sistemi energetici.

Dai dati orari suddetti è sempre possibile trarre delle informazioni relative al lungo periodo attraverso parametri che vengono calcolati come medie, sommatorie ecc. dei dati orari. Questo aspetto tocca un altro problema delle applicazioni della simulazione termoe-nergetica dinamica, ovvero la necessità di fornire adeguate informazioni riguardo

Figura 2. Profilo orario lungo un intero anno (8760 ore) dei carichi termici e frigoriferi di un edificio residenziale multipiano e curve di frequenza cumulata dei carichi (da E. Fabrizio, V. Corrado, M. Filippi, *A model to design and optimize multi-energy systems in buildings at the design concept stage*, in «Renewable Energy», vol. 35, n° 3 (2010) pp. 644-655).



A&RT

alla variabilità temporale, e spesso anche spaziale, delle grandezze in uscita.

3. I software di simulazione

Dato per assodato che tutti i modelli di calcolo sono informatizzati, per selezionare un software di calcolo occorrerà valutare:

- in primo luogo la possibilità di analizzare il fenomeno di interesse (ad esempio inerzia termica, ombreggiamento, regolazione degli impianti di climatizzazione, inerzia igrica, inserimento di PCM ecc.);
- le modalità di calcolo dei carichi termici;
- la tipologia di modellazione (schematizzazione, dati di ingresso,...) dei componenti di involucro;
- le modalità di modellazione dei flussi d'aria e della ventilazione;
- i modelli degli impianti di climatizzazione;
- i modelli dei sistemi energetici, per l'utilizzo delle fonti rinnovabili e degli impianti elettrici;
- la natura dei dati di ingresso meteo climatici e la disponibilità degli appropriati dati climatici tipizzati per il lavoro in esame (revisione UNI 10349)⁵;
- la complessità dei dati di input e qualità dei dati di output;
- l'accessibilità, le interfacce e l'interoperabilità.

Si rimanda al database di software "Building Energy Software Tools Directory" del DOE⁶ per una catalogazione ragionata di 398 software di simulazione energetica e di comfort.

Un esame dettagliato e confronto tra 20 software di simulazione termoenergetica dinamica è invece contenuto nel report "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs"⁷ di Crawley, Hand, Kummert e Griffith.

Per illustrare, seppur sinteticamente, la natura di un software di simulazione termoenergetica dinamica si prende in esame il software EnergyPlus. Si tratta di un software per la simulazione integrata dell'edificio, degli impianti di climatizzazione e dei sistemi di generazione dell'energia a servizio di un edificio. Nell'ambito dei programmi di simulazione termoenergetica degli edifici, EnergyPlus sta recentemente guadagnando un sempre maggiore consenso a livello internazionale per il notevole grado di dettaglio nella simulazione energetica degli edifici e per la caratteristica di essere un software integrato, che consente la simulazione di tutti i flussi di energia termica ed elettrica che attraversano le superfici di controllo dei sistemi oggetto di analisi. È solo un simulatore e non comprende interfacce, che sono state sviluppate esternamente (ad esempio il plug-in OpenStudio di Google SketchUp per l'inputazione dei dati geometrici).

È freeware e scaricabile dal relativo sito internet⁸, e viene aggiornato e ampliato una-due volte all'anno.

Alcune tra le caratteristiche fondamentali del software sono la soluzione dello scambio termico attraverso le

pareti in regime variabile attraverso il metodo CTF, il calcolo dei carichi termici secondo il metodo ASHRAE HB (Air Heat Balance), la possibilità di valutare anche il bilancio igrico dell'ambiente e/o delle pareti, la soluzione simultanea dell'edificio e degli impianti di climatizzazione, il passo di tempo di calcolo sub-orario. Il software modella esclusivamente ciò che è esplicitamente descritto (e così ad esempio una parete "mancante" non lascerà entrare aria esterna, un tetto "mancante" non lascia entrare radiazione solare ecc.).

Per comprendere la modellazione fisica diretta del bilancio termico dell'edificio è di ausilio lo schema della Figura 4 in cui sono indicati il bilancio termico sull'aria vero e proprio (*air heat balance*, somma di tutti flussi convettivi), al quale sono connessi il flusso convettivo per infiltrazione e ventilazione, il flusso convettivo dovuto ai carichi interni, e il flusso dovuto alla convezione con le pareti dell'ambiente (*convection to zone air*). Nella parte superiore dello schema è possibile notare come per ogni parete venga valutato il bilancio sul nodo superficiale esterno della parete (*outside surface heat balance*), il bilancio sul nodo superficiale interno della parete (*inside surface heat balance*) e, tra il nodo esterno e il nodo interno, venga valutato il flusso termico per condizione trasmesso all'interno della parete (*through the wall conduction*).

Infine, lo schema ricorda anche i diversi contributi che determinano il bilancio sui nodi superficiali di ogni singola parete. Sul nodo esterno della parete il bilancio è composto dalle quote relative alla radiazione solare incidente assorbita, alla convezione con l'aria esterna, alla radiazione ad alta lunghezza d'onda (*LW radiation*) e alla conduzione verso la parete. Sul nodo interno della parete il bilancio è composto dalle quote relative alla radiazione a bassa lunghezza d'onda (*SW radiation*), alla radiazione solare trasmessa all'interno dell'ambiente attraverso i componenti trasparenti e distribuita sulle varie pareti (*transmitted solar*), alla convezione con l'aria interna – il termine che entra nell'*air heat balance*, alla radiazione ad alta lunghezza d'onda derivante dalle altre superfici dell'ambiente, alla radiazione ad alta lunghezza d'onda derivante dalle sorgenti interne, alla conduzione verso la parete.

L'*air heat balance* ovvero il bilancio termico sull'aria ambiente è basato sulle seguenti assunzioni:

- temperatura dell'aria ambiente uniforme (perfetta miscelazione);
- temperatura uniforme di ciascuna superficie;
- irraggiamento uniforme ad alta e a bassa lunghezza d'onda;
- superfici uniformemente diffondenti;
- trasmissione del calore per conduzione monodimensionale.

Spesso alcune di queste semplificazioni possono apparire troppo limitanti, ma sono quelle su cui si basa un modello di calcolo termoenergetico dettagliato.

La simulazione degli impianti di climatizzazione avviene attraverso la scomposizione dei componenti di un impianto in tre sotto-sistemi: l'*air loop* (circuiti aeraulici) il *plant loop* (circuiti idronici dei fluidi termovettori) e il *condenser loop* (circuiti idronici dei fluidi di condensazione). Su questi circuiti si individuano componenti relativi alla domanda (batterie di scambio termico) e componenti relativi all'offerta (generatori di calore, gruppi frigoriferi nel caso del plant loop; torri evaporative, pozzi nel caso del condenser loop) di energia. La prestazione dei componenti di impianto è generalmente modellata attraverso una o più relazioni di ingresso-uscita determinate a partire dai dati dei fabbricanti. Usualmente l'efficienza di conversione di una macchina in condizioni nominali è inputata dall'utente, mentre l'efficienza di conversione, e più in generale la prestazione, della macchina in tutte le altre condizioni di lavoro, è determinata attraverso una correlazione funzione del fattore di carico (PLR *part load ratio*), ovvero di altre grandezze. Il PLR è il rapporto tra la potenza e la potenza nominale. Si tratta in ogni caso di un grado di dettaglio avanzato e tale per cui non sono spesso a disposizione dell'utilizzatore tutti i parametri di input necessari (tra cui ad esempio le leggi sperimentali alla base delle curve di variabilità delle prestazioni della macchina).

Il software è stato concepito come un codice di calcolo, senza interfacce *user friendly* a meno dell'editor che consente la scrittura del file di testo ASCII che contiene i dati di input (idf Editor), ma soggetti indipendenti hanno nel tempo sviluppato interfacce grafiche di input e di output.

Alcuni software consentono di esportare in EnergyPlus un file creato all'interno del loro ambiente, altri sono stati espressamente creati per gestire l'utilizzo completo di EnergyPlus (creare i file di input, condurre le simulazioni, analizzare i dati) come DesignBuilder, EFEN, Hevacomp Design Simulation, HLCP, TreatPlus. È allo studio da parte del Simulation Research Group del Lawrence Berkeley National Laboratory, la progettazione di un'interfaccia freeware (SIMERGY), che dovrebbe uscire nella seconda metà del 2012, in grado di gestire completamente la creazione e modifica dei file di EnergyPlus. Esistono anche applicazioni specifiche per la visualizzazione dei risultati di EnergyPlus. Riguardo all'utilizzo di software del primo tipo, è necessario considerare che la creazione di un file di input attraverso un altro software è un'operazione non sempre agevole, soprattutto nel caso di edifici molto complessi o modellazioni dettagliate, e che il grado di controllo che l'utente ha sui dati di input decresce a seguito dell'importazione in EnergyPlus a partire da un altro software, cosicché le operazioni di modifica all'interno di EnergyPlus (ovvero attraverso l'idf Editor) di file creati in altre applicazioni sono molto più difficoltose. Per quanto riguarda invece l'utilizzo di software del secondo tipo, conoscere il funzionamento del motore di calcolo (la struttura modulare del programma, gli algoritmi di calcolo, i dati di input richiesti, le modalità di controllo implementabili ecc.) consente di operare con maggiore

consapevolezza all'interno delle opzioni di calcolo del software per governare tutti i parametri di una simulazione ed ottenere il risultato voluto.

Non è poi da trascurare la compatibilità tra la versione di EnergyPlus utilizzata dall'interfaccia e quella a disposizione dell'utente.

È allo studio da parte di un team cui partecipano ricercatori del Lawrence Berkeley National Laboratory la realizzazione di una nuova interfaccia grafica di EnergyPlus, dalla geometria agli impianti di climatizzazione, distribuita liberamente sotto il nome di SIMERGY⁹.

4. I modelli di edifici di riferimento

L'U.S. Department of Energy (DOE) ha condotto numerosi studi basati su simulazioni energetiche in regime dinamico al fine di realizzare i *benchmark building models*¹⁰ serie di modelli standard di edifici di riferimento per la costruzione ex-novo e per il patrimonio edilizio esistente da utilizzare all'interno del software di calcolo termoenergetico EnergyPlus. Si tratta di prototipi guida per le prime fasi di progettazione e simulazione energetica, elaborati con l'obiettivo di stabilire un punto di partenza comune per confrontare più facilmente i risultati delle simulazioni energetiche e stimolare ad un uso più razionale dell'energia in edifici esistenti e di nuova costruzione.

Sono disponibili per 16 tipologie edilizie di edifici terziari (ospedale, casa di cura, centro commerciale, ristorante, hotel, scuola primaria, scuola secondaria, ufficio di piccole dimensioni, ufficio di medie dimensioni, ufficio di grandi dimensioni, magazzino ecc.) e sono particolarmente utili in quanto contengono tutte quelle condizioni al contorno (valori di riferimento dei carichi interni, profili d'uso ecc.) di difficile reperimento e tali da influenzare i risultati ottenuti. Le caratteristiche di ogni benchmark sono descritte all'interno di un foglio di calcolo di sintesi degli input e della prestazione energetica dei benchmark nei vari climi. È anche in corso un'attività di contestualizzazione, a livello italiano, di tali benchmark.

L'importanza della definizione di edifici di riferimento si è sempre più rafforzata negli ultimi anni. Innanzitutto, l'approccio volto a costruire un benchmark è contenuto anche nella norma statunitense ASHRAE 90.1 che riguarda la valutazione della prestazione energetica di edifici non residenziali ed è la norma di riferimento per svolgere la procedura di certificazione LEED statunitense. La norma ASHRAE 90.1 contiene infatti le procedure per determinare attraverso una serie di simulazioni termoenergetiche dinamiche, un edificio virtuale di riferimento a partire dalle caratteristiche dell'edificio oggetto di studio.

A livello europeo invece, la definizione dei livelli di prestazione energetica ottimali in funzione dei costi che definiranno le soglie di consumo dei Nearly Zero Energy Buildings di cui alla Direttiva Europea 31/2010/UE del 19 maggio 2010 (EPBD recast) è basata sulla definizione di

A&RT

modelli di edifici di riferimento. Attraverso una serie di simulazioni deve essere valutato l'effetto su questi edifici di riferimento di una serie di azioni di miglioramento della prestazione energetica, edilizie e impiantistiche, e la loro efficacia in termini di costo-benefici. Da tale valutazione sarà possibile evincere la soglia di consumo massimo a cui fissare la prestazione minima di un Nearly Zero Energy Building in ogni stato membro.

5. Le sfide future della simulazione termoenergetica

Senza dubbio le applicazioni di simulazione termoenergetica dinamica hanno visto un forte incremento negli ultimi 5 anni: il semplice regesto degli articoli di ricerca scientifica pubblicati in argomento¹¹ lo dimostra chiaramente. Emerge un quadro caratterizzato da un diffuso utilizzo dei software ai fini della stima dei fabbisogni ambientali per riscaldamento e raffrescamento, molto spesso in associazione a studi parametrici, ma da un marginale utilizzo ai fini della stima dei consumi energetici e della prestazione del sistema edificio-impianto, soprattutto quando si passa da simulazioni parametriche a casi studio reali. La simulazione dei sistemi impiantistici a servizio della climatizzazione risulta infatti di notevole complessità – tanto più nel caso di sistemi energetici integrati come quelli in uso nel residenziale – ed affrontata in pochi casi, se non per motivi di studio di dettaglio. Ancora più marginale la simulazione dei sistemi di generazione di energia elettrica distribuita, per i quali invece continuano ad ottenere maggior consenso software dedicati quali ad esempio HOMER, MERIT e RETScreen, rispetto ai software termoenergetici “completi” quali EnegyPlus, TRNSYS ecc.

È possibile citare alcuni temi recentemente affrontati o che possono essere considerati come le sfide del prossimo futuro nel campo della simulazione termoenergetica.

Un primo aspetto riguarda la presa in considerazione dell'incertezza delle variabili di ingresso. Le calcolazioni che si effettuano in termofisica dell'edificio vengono effettuate a

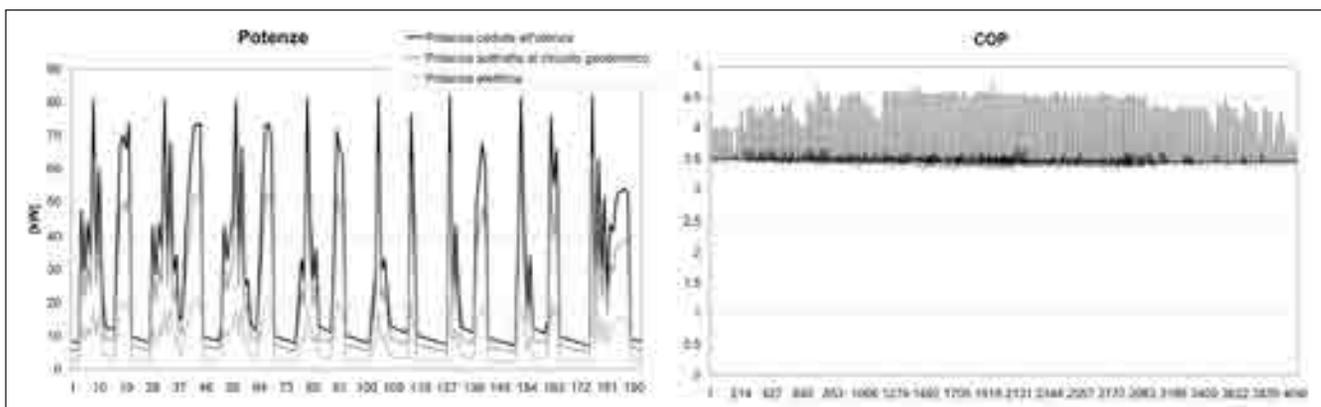
partire da dati di ingresso misurati o stimati con una determinata *incertezza* che però usualmente non viene presa in considerazione; via via che si affinano i modelli di calcolo, così come avvenuto in altre discipline, si è reso invece necessario prendere in considerazione la variabilità dei dati di input e il suo effetto sui dati di output. Tale necessità appare ancora più evidente quando si confrontino le prestazioni energetiche calcolate con quelle misurate, in quanto queste ultime si discostano spesso dalle prime¹². Vengono allora applicati dei range di incertezza ai dati di input in maniera da ottenere la restituzione automatica di output caratterizzati da grandezze probabilistiche.

Peraltro, una delle cause di scostamento, fino anche ad un ordine di grandezza, tra i valori di consumo simulati e quelli misurati è legata alla modellazione del comportamento degli occupanti: vi è allora la necessità di introdurre all'interno di una simulazione il reale comportamento dell'occupante¹³ per quanto attiene alla gestione dei set point di temperatura (termostati ambiente, valvole termostatiche ecc.), dell'apertura e chiusura delle finestre, all'occupazione dei locali ecc.

Passando dal particolare al generale, queste ultime problematiche consentono di introdurre il tema della *simulazione calibrata*, con cui si intende la creazione di un modello di simulazione che non si riferisca ad un edificio virtuale bensì ad un edificio reale vero e proprio (la calibrazione si fa sulla base di dati misurati). In quest'ottica il modello di simulazione energetica può essere utilizzato per gli scopi più diversi durante la vita utile dell'edificio, in particolare durante le fasi di post-costruzione all'interno di procedure di *continuous commissioning* per la previsione dei consumi in tempo reale in funzione dei dati climatici o la valutazione di interventi di retrofit energetico.

Sempre a livello generale, vi è poi un altro aspetto che merita di essere sottolineato. Riguarda lo spostamento della logica di simulazione da quella consolidata del tipo *progetto® verifica* a quella basata sull'*ottimizzazione*. Non appare più sufficiente utilizzare la simulazione come strumento di verifica

Figura 3. Profilo orario della potenza termica fornita (ceduta all'utenza), sottratta al terreno (circuiti geotermici) e della potenza elettrica assorbita di una pompa di calore geotermica a servizio di un piccolo edificio residenziale multifamiliare per alcuni giorni invernali; profilo orario del COP della medesima pompa di calore lungo tutta la stagione di riscaldamento.



di soluzioni progettuali pre-determinate (qual è l'effetto della variazione della schermatura, dell'incremento dell'isolamento termico ecc.) ma si stanno facendo vari tentativi di utilizzare i modelli di simulazione in associazione a tecniche di *ottimizzazione*, sia per accrescerne le potenzialità andando ad ampliare il dominio di possibili soluzioni indagate, sia per favorirne un utilizzo a livello di *concept design*. Ne è un esempio l'utilizzo del software EnergyPlus in associazione con il software di ricerca di soluzioni ottimali basato su algoritmi genetici GenOpt, la piattaforma BENIMPACT¹⁴, i metodi di simulazione e ottimizzazione dei sistemi energetici Energy Hub ed Extendend Building Energy Hub. Quest'ultimo modello di calcolo, ad esempio, permette l'ottimizzazione integrata di opzioni di riduzione della domanda di energia (*demand side parameters*) e opzioni di aumento dell'efficienza energetica degli impianti e sfruttamento di energie rinnovabili (*supply side parameters*)¹⁵. È così possibile determinare quale sia ad esempio la condizione limite in cui non è più economicamente conveniente ridurre la domanda di energia perché risulta maggiormente conveniente sfruttare le fonti rinnovabili. D'altronde, riallacciandosi a un aspetto già trattato, è questa la medesima *ratio* della procedura di calcolo definita dai comitati tecnici europei per la determinazione del livello di prestazione ottimale in funzione dei costi su cui tarare il valore degli edifici a energia netta quasi zero¹⁶.

Alcuni aspetti più specifici relativi ai software di simulazione riguardano le attività di *standardizzazione* dei modelli di simulazione per aumentare la compatibilità, la reciproca validazione e il *collaborative design*, l'integrazione di software di simulazione per applicazioni diverse; il miglioramento della qualità delle interfacce utente dei software dettagliati.

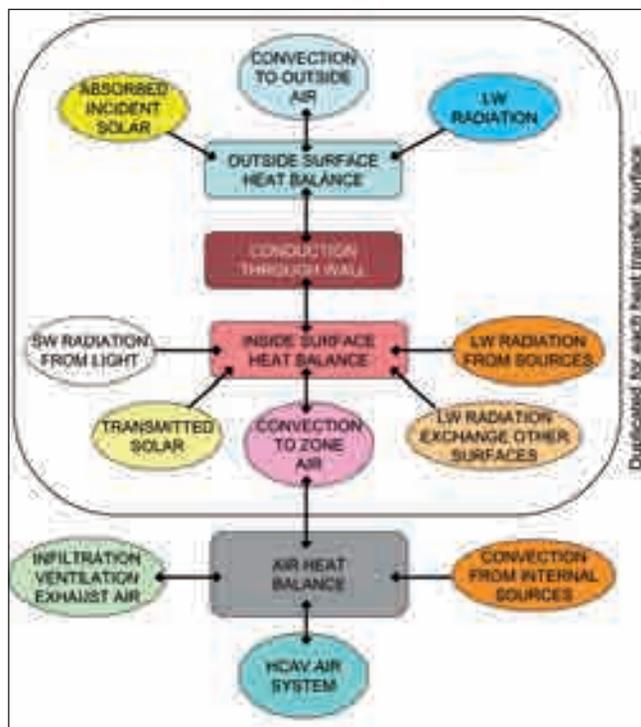
A questo tema si legano anche le promettenti prospettive di integrazione tra BIM e Building Simulation¹⁷: sono molte tuttavia le sfide che si pongono per un utilizzo diffuso e proficuo del BIM: è necessario sopperire alla mancanza di protocolli condivisi per la creazione dei modelli di oggetti e librerie, migliorare, da parte di produttori e industrie, l'accesso alle informazioni sui prodotti edilizi, diffondere l'adozione di linee guida comuni per la creazione di modelli che consentano la corretta simulazione termoeconomica, acustica ed illuminotecnica, migliorare gli standard per la condivisione e scambio delle informazioni senza che la standardizzazione comporti una perdita del contenuto di innovazione.

Infine, un ultimo punto che merita di essere ricordato è quello relativo alla condivisione e creazione di protocolli di *performance assessment method* che contengano le modalità con cui svolgere le simulazioni termoeconomiche e tali da armonizzare l'utilizzo dei software garantendone la corretta riproducibilità dei risultati.

Conclusioni

Grazie al paziente lavoro di costruzione e validazione abbiamo ora a disposizione modelli di calcolo estremamente dettagliati (e perciò anche molto sensibili!) e a basso costo (quando non gratuiti), spesso tuttavia utilizzati per una piccola percentuale delle loro potenzialità. Solo per dare un'idea della complessità del suo utilizzo, EnergyPlus (v. 6.0) possiede una guida all'uso di oltre 4260 pagine, quasi 600 moduli diversi, di cui oltre 200 relativi agli impianti di climatizzazione, 20 programmi ausiliari (senza contare le interfacce esterne), 530 file di esempio, 30 file di banche dati (materiali, pannelli PV, collettori solari ecc.), la possibilità di richiedere alcune centinaia di grandezze in uscita. Risulta perciò evidente che un utilizzo consapevole dei software di simulazione termoeconomica presuppone, quando non esige, buone conoscenze dei fondamenti e applicazioni di termofisica dell'edificio e climatizzazione, climatologia edilizia e impianti tecnici a servizio degli edifici, la conoscenza e l'aggiornamento sulle caratteristiche prestazionali delle tecnologie edilizie e impiantistiche presenti sul mercato e oggetto di simulazione. Non di rado l'utilizzo dei software, attraverso la lettura e lo studio da parte dell'utilizzatore della sua documentazione ingegneristica, contribuisce alla crescita culturale dell'utilizzatore stesso. Infine, ogni simulazione richiede un attento e laborioso preliminare lavoro di calibrazione, ed è questo l'aspetto maggiormente problematico di ogni modellazione energetica.

Figura 4. Schema concettuale del modello termoeconomico di un edificio.



A&RT

Bibliografia

- J. Clarke, *Energy simulation in building design*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2001
- J. Hensen, R. Lamberts (a cura di), *Building performance simulation for design and operation*, Taylor and Francis, London 2011
- M. Filippi, E. Fabrizio (a cura di), *Introduzione alla simulazione termoenergetica dinamica degli edifici*, serie "Guide AiCARR", II, Delfino, Milano 2012
- E. Fabrizio, M. Filippi, *Modelli e strumenti informatici per la simulazione e il progetto di sistemi multienergia*, in «AICARR Journal» n.8, 2011, pp. 64-72.

Note

- ¹ J. Hensen, *Energy and building performance simulation: current status and future issues*, in «Energy and Buildings», vl. 33 (2001), vii-ix.
- ² J. Clarke, *Energy simulation in building design*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2001.
- ³ F. Musau, K. Steemers, *Space planning and energy efficiency in office buildings: the role of spatial and temporal diversity*, in «Architectural Science Review», vol. 51, n. 2, 2008, pp. 133-145.
- ⁴ E. Fabrizio, S.P. Corgnati, F. Causone, M. Filippi, *Numerical comparison between energy and comfort performances of radiant heating and cooling systems vs. air systems*, in «HVAC&R Research», vol. 17, n. 6, 2011.
- ⁵ Si ricorda che la revisione, di prossima pubblicazione, della norma italiana sui dati climatici, la UNI 10349, conterrà non solo i dati climatici medi mensili ma anche quelli relativi agli anni tipo dei capoluoghi di provincia italiani nonché le modalità per determinare gli anni tipo quando non disponibili.
- ⁶ Sito internet:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/
- ⁷ D. Crawley, J. Hand, M. Kummert, B. Griffith, *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*, v. 1.0, June 2005
(http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/pdfs/contrasting_the_capabilities_of_building_energy_performance_simulation_programs_v1.0.pdf) anche, con medesimo titolo, su «Building and Environment», vol. 43, n. 4, 2008, pp. 661-673.
- ⁸ <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- ⁹ R. See, P. Haves, P. Srekanthan, J. O'Donnell, M. Basarkar, K. Settlemyre, *Development of a user interface for the Energyplus whole building energy simulation program*, in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November 2011, pp. 2919-2926.
- ¹⁰ Sito internet:

http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial_initiative/reference_buildings.html

- ¹¹ E. Fabrizio, *Strumenti per la stima dei consumi energetici*, in «Condizionamento dell'aria, riscaldamento, refrigerazione» 2, 2009, pp. 14-21.
- ¹² T.S. Larsen, R.L. Jensen, *Comparison of measured and calculated values for the indoor environment in one of the first Danish passive houses*, in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November 2011, pp. 1414-1421.
- ¹³ Il tema dell'influenza dell'*occupant behaviour* nella *building simulation* è stato ampiamente trattato all'interno dell'ultima conferenza internazionale dell'IBPSA tra cui si possono citare i lavori V.Fabi, R.V. Andersen, S.P. Corgnati, B.W. Olesen, M. Filippi, *Description of occupant behaviour in building energy simulation: State-of-art and concepts for improvements*; R.V. Andersen, B.W. Olesen, J. Toftum, *Modelling occupants' heating set-point preferences*; U. Wilke, F. Haldi, D. Robinson, *A model of occupants' activities based on time use survey data*; F. Antretter, C. Mayer, U. Wellisch, *An approach for a statistical model for the user behaviour regarding window ventilation in residential buildings*; tutti pubblicati sugli atti del relativo convegno (Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November 2011).
- ¹⁴ Building's ENvironmental IMPACT evaluator & optimizer, progetto di ricerca co-finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento attraverso il FESR. «L'approccio metodologico innovativo di BENIMPACT consentirà di implementare un processo di progettazione edile integrato: le analisi ed i calcoli necessari alla progettazione di un edificio ecosostenibile potranno essere completate in simultanea, grazie all'interazione di una serie di strumenti di calcolo fortemente integrati tra loro. Nel processo di progettazione tradizionale, invece, gli strumenti di calcolo che permettono di valutare, in fase di progetto, le caratteristiche dell'edificio, non sono integrati tra loro e sono invece utilizzati, in genere, da professionisti diversi in momenti diversi del processo progettuale»
<http://www.enginsoft.it/ricerca/prgbenimpact.html>.
- ¹⁵ M. Bayraktar, E. Fabrizio, M. Perino, *The «Extended Building Energy Hub»: a new method for the simultaneous optimization of energy demand and energy supply in buildings*, in «HVAC&R Research», vol. 18, n.1, 2012.
- ¹⁶ Boermans, Bettgenhäuser et al., e relativa analisi in M. Filippi, E. Fabrizio, *Il concetto di Zero Energy Building*, in Convegno AICARR "Verso gli edifici a energia "quasi zero": le tecnologie disponibili", Bologna 6 ottobre 2011.
- ¹⁷ J. Mitchell, *BIM & Building Simulation*, in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November 2011, pp. K1-K7.

Esempi di progettazione energetica assistita da computer: modellazione dinamica e fonti rinnovabili per il Parco del Karakorum

Energy simulations for building design: dynamic simulation and renewable sources for Karakorum Park

ALBERTO ALTAVILLA, FABIO FAVOINO

L'obiettivo introdotto dal recast dell'EPBD (Direttiva 2010/31/EU) rispetto ai cosiddetti Zero Energy Building porta alla ribalta un nuovo approccio progettuale caratterizzato da un'integrazione crescente degli aspetti architettonici, energetici ed impiantistici. Parallelamente aumentano sempre di più le novità tecnologiche nel settore del green building e dell'efficienza energetica e nuove soluzioni nascono proprio dall'integrazione di questi elementi innovativi con l'involucro edilizio e con il sistema impiantistico. Tuttavia l'innovazione nelle abitudini e nella prassi progettuale dipende dalla possibilità di poter contare su strumenti di progettazione e calcolo in grado di simulare soluzioni nuove ed integrate. In questo contesto, i software per la simulazione energetica dinamica e per l'analisi delle performance dell'edificio assumono un ruolo chiave nella valutazione delle scelte architettoniche ed impiantistiche fin dalle prime fasi del progetto, oltre che nelle verifiche finali, rendendo così necessaria una maggiore "efficienza" nel dettaglio della modellazione e nello scambio di informazioni tra i vari software nei diversi step progettuali.

The goal of the ZEB, introduced by the recast of the EPBD, requires a more integrated approach to architectural, energy and HVAC design. Moreover, technological innovation in the field of green building and the potential in energy efficiency are growing together with new solutions arising from the integration of these into the building envelope and the HVAC system. However, innovation in the habits and practices of design professionals also depends on the possibility given by the design tools to simulate and calculate their innovative and integrated design solutions. In this context, dynamic energy software play a key role in the early evaluation of design choices at the project stage, as well as in final tests. This makes a more detailed modeling and exchange of information between different software at the various steps of the projects, necessary.

Alberto Altavilla, architetto e responsabile edilizia in E++, azienda italiana attiva da anni nel settore delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica.
a.altavilla@eplusplus.net

Fabio Favoino, Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, Doppia Laurea Alta Scuola Politecnica, Consulente sulla modellazione energetica degli edifici.
fabio.favoino@polito.it

Introduzione

Per ragionare concretamente sul tema della progettazione integrata, viene qui presentato un caso studio basato sul progetto della nuova sede del Central Karakorum National Park a Skardu in Pakistan; l'intervento sul territorio è promosso dal Comitato Ev-K2-CNR in collaborazione con la Karakorum International University all'interno del progetto SEED. L'intervento è oggi in fase progettuale e per analizzarlo dal punto di vista energetico ed impiantistico è stata utilizzata la suite IES «Virtual Environment», software finalizzato alla modellazione dinamica e alla verifica delle performance degli edifici. Obiettivo dell'applicazione del software è stato quello di analizzare il progetto e di individuare una strategia per raggiungere maggiori livelli di efficienza energetica del sistema edificio/involucro nel periodo di riscaldamento e livelli più elevati di comfort per gli utenti nel periodo estivo. Inoltre, l'impiego della suite IES «VE» ha permesso di indagare le criticità e i punti

A&RT

di forza dello strumento stesso, utilizzato nell'ottica di un approccio integrato alla progettazione.

1. Descrizione del caso studio

Il Parco Nazionale del Karakorum Centrale (CKNP) è uno tra i più importanti parchi del Pakistan, confina con Cina, Afghanistan e India e rappresenta una sezione della catena montuosa Hindu Kush-Karakorum-Himalaya. Al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile del territorio, l'associazione italiana Comitato Ev-K2-CNR, ente privato senza scopo di lucro che da oltre vent'anni propone e realizza progetti di ricerca scientifica e tecnologica in alta quota, nell'ambito del progetto SEED sta lavorando nella regione del Central Karakorum National Park, supportando l'implementazione e la gestione del Parco e migliorando la qualità della vita e i mezzi di sussistenza della popolazione locale. Il Progetto SEED nasce nell'ambito dell'accordo relativo alla

conversione del debito per lo sviluppo tra Italia e Pakistan e si svolge in collaborazione con la Karakorum International University. Tra i punti chiave del progetto, si sta lavorando alla progettazione di una nuova Sede per Parco (Figura 1). Il progetto, coordinato da Ev-K2-CNR, è curato dagli italiani Ermes Invernizzi e Michele Locatelli (studio ILA Architetti).

2. Strumenti utilizzati

Il caso studio è stato sviluppando parallelamente al progetto definitivo, redatto dai progettisti. Il livello di dettaglio e gli strumenti utilizzati sono definiti dallo stato di avanzamento del progetto, dai software disponibili per i progettisti e dai risultati voluti. Gli strumenti utilizzati sono principalmente di tipo software e si dividono in software di modellazione geometrica e software di modellazione ed analisi energetica. Gli obiettivi del caso studio del

Figura 1. Render prospettico dell'edificio CKNP da ovest e vista del modello geometrico dal software REVIT.



Figura 2. Caratteristiche termofisiche involucro opaco e trasparente.

Involucro Opaco CKNP	Stratigrafia Esterno-Interno	Spessore [m]	U_value [W/m²K]	C [kJ/m²K]
Involucro Verticale Opaco	Pietra-Isolamento-C.A.	0.52	0.2232	204.09
Involucro Orizzontale Contro-Terra	C.A.-Isolamento-Rivestimento Legno	0.29	0.4605	169.4
Copertura	Impermeabilizzazione-C.A.-Isolamento-Legno	0.24	0.2214	31.2
Copertura WC	Impermeabilizzazione-C.A.-Isolamento-C.A.	0.42	0.2271	170.81
Solai Interpiano	Orditura e tavolato in legno-Isolamento-Legno	0.18	0.3842	18.98
Solai Interpiano WC	C.A.-Isolamento-Rivestimento	0.33	1.981	166.09
Partizione Interna 1	Intonaco-Blocchi CLS	0.19	0.9841	65.09

Serramenti CKNP	Descrizione	Spessore [m]	U_value [W/m²K]	g_value [%]	Schermature
Involucro Verticale Trasparente	Doppio vetro semplice, 30% telaio in legno	0.012	3.849	0.78	Esterna
Involucro Verticale Trasparente WC	Doppio vetro semplice, 30% telaio in legno	0.012	3.849	0.78	NO

Figura 3. Ambienti dell'edificio oggetto della valutazione di qualità ambientale estiva.



Karakorum Centre non sono solo quelli di valutare il progetto dal punto di vista energetico e del comfort ambientale, ma anche di valutare come alcuni software rispondano alle esigenze progettuali di modellazione, interoperabilità, interpretabilità dei risultati, analisi comparative delle soluzioni progettuali proposte. I software utilizzati per la modellazione geometrica sono Sketch-up e REVIT. Mentre IES Virtual Environment è stato utilizzato per la modellazione e simulazione energetica. Quest'ultimo permette analisi energetiche di tipo statico, basato sulle temperature medie mensili, e di tipo dinamico, basato sui dati climatici orari. Essendo necessarie valutazioni di comfort ambientale nella stagione estiva, si è resa necessaria una simulazione energetica dinamica.

Lo studio di progettazione ILA ha fornito il modello geometrico da loro sviluppato con il software Sketch-up, per l'elaborazione di render ed elaborati grafici. L'interoperabilità tra Sketch-up ed IES prevede un tipo di modellazione finalizzata fin dall'inizio all'esportazione del modello geometrico nel software di simulazione. Per questo motivo il modello a nostra disposizione era difficilmente importabile, rendendo necessaria un'ulteriore modellazione geometrica. Per questo motivo si è scelto il software REVIT, uno dei più conosciuti ed utilizzati software BIM, Building Information Model, che ha un'interoperabilità molto ampia e permette l'importazione del modello in vari modi e formati in IES. Il modello geometrico (Figura 1) è stato sviluppato a partire dagli elaborati grafici forniti dallo studio di progettazione, con un dettaglio strettamente necessario ai fini dell'importazione,

costruendo due zone termiche (una con controllo della temperatura, ed un'altra Free Running), a partire dalla definizione di un volume per ogni stanza, formato dagli elementi architettonici di muro, solaio e serramento. IES fornisce un toolkit di esportazione e per analisi preliminari in REVIT. Il toolkit assicura un controllo di eventuali errori di modellazione geometrica nel passaggio tra i suoi software più immediate rispetto agli altri metodi possibili (salvataggio nel formato .gbXML o .DXF).

IES VE è un software commerciale di simulazione energetica. E' composta da diversi moduli integrati in un'unica interfaccia che permette valutazioni sui singoli aspetti o componenti dell'edificio, ma anche una valutazione globale in termini di fabbisogno energetico, comfort ambientale, nonché la sostenibilità globale dell'intervento in termini ambientali ed economici. L'attendibilità del software è stata verificata utilizzando diversi strumenti e metodi, rispondendo così alla normativa ASHRAE 140, CIBSE AM11, ISO EN 13791, BESTEST.

3. Descrizione del modello

L'edificio reale è localizzato nella località di Skardu, Pakistan [35°18'N, 75°37'E, 2500 m slm], nel Parco Nazionale del Karakorum, in un altipiano desertico ai piedi della catena montuosa dell'Himalaya. Il contesto climatico in cui è inserito è un clima continentale secco, che presenta una grande escursione termica sia stagionale che giornaliera, con inverni rigidi (temperatura media minima -8 °C, con picchi sotto i -20°C) ed estati calde (temperatura media massima 31,6 °C, con picchi sopra i 40°C). Il

Figura 4. Valutazione progetto: fabbisogno annuale di energia primaria totale, e break up mensile.

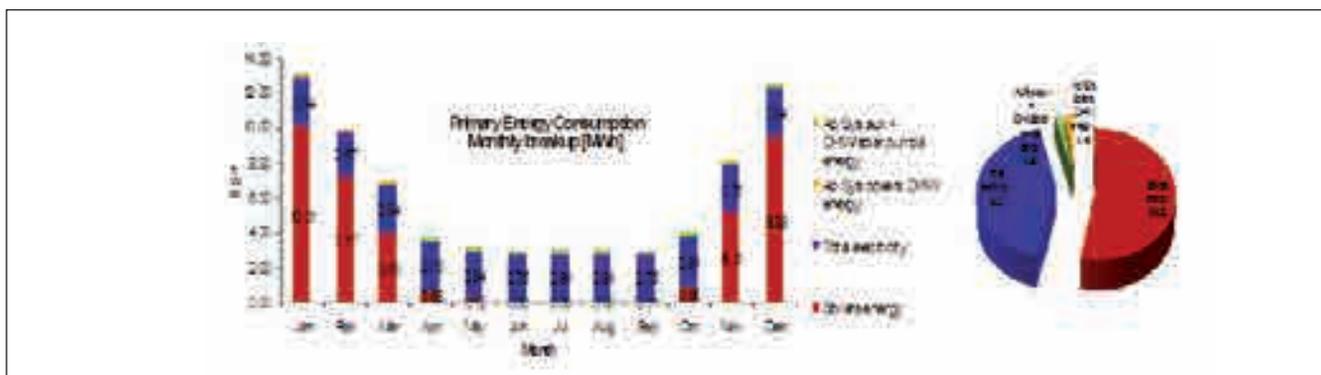
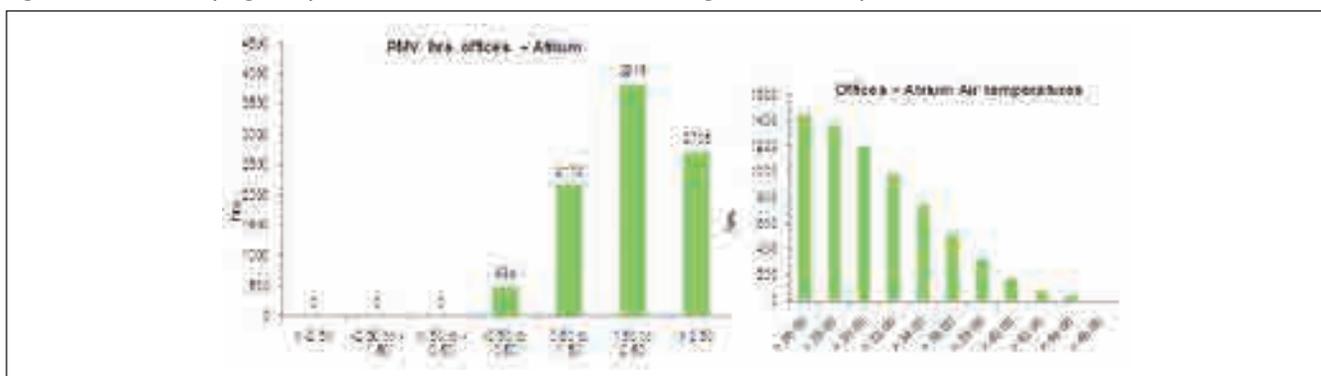


Figura 5. Valutazione progetto: qualità dell'ambiente interno, PMV e Ta negli ambienti occupati.



A&RT

luogo presenta una ventilazione naturale con una direzione principale del vento est-ovest ed una velocità media da 0,6 a 2,3 m/s su base annua. I dati climatici forniti dallo studio di progettazione sono dati climatici medi mensili, utilizzati per la valutazione preliminare del progetto, ma insufficienti per una simulazione energetica dinamica. I dati climatici orari sono stati forniti dal sito Meteororm, che ha fornito un file .epw (Energy Plus Weather), basato sulle rilevazioni orarie della stazione climatica di Srinagar, a 153 km dal sito, dal 1969 al 2001.

L'edificio di progetto presenta una superficie totale di 421 m², divisa su due livelli (162 m² piano terra, 259 m² primo piano), divisa tra ambienti con controllo della temperatura tramite un impianto di climatizzazione ed ambienti Free Running (321 m² e 100 m² rispettivamente). Gli ambienti con controllo della temperatura sono le stanze con un'occupazione stabile, come quelle adibite ad uffici, cucina, bagni, biblioteca ed atrio e sala conferenze, mentre le scale, i disimpegni e i vani tecnici non sono climatizzati.

Le caratteristiche dell'impianto di climatizzazione e dei componenti edilizi sono dettati dalla disponibilità locale di componenti e di maestranze per l'installazione. Per questo motivo sono state adottate soluzioni molto tradizionali e legate alle tecniche costruttive, ed ai parametri estetici e di comfort locali. L'impianto di climatizzazione è previsto per la sola stagione di riscaldamento, con terminali di erogazione a radiatori in ghisa con valvole termostatiche, distribuzione a colonna e generazione con bruciatore a metano, con un rendimento globale stagionale $\eta_{gl} = 0,8370$. La stagione di riscaldamento è considerata da ottobre ad aprile, con una temperatura interna pari a $T_{int} = 20$ °C. Nella mezza stagione e in estate l'edificio non presenta alcun controllo della temperatura e dell'umidità relativa.

Le tabelle in Figura 2 riassumono sinteticamente le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi utilizzati. L'involucro opaco è realizzato con materiali e tecniche costruttive locali, realizzando così un involucro molto massivo, realizzato in pietra e calcestruzzo. Gli orizzontamenti ed i serramenti sono in legno, mentre la copertura ed il solaio contro terra sono in calcestruzzo, quest'ultimo è isolato dal terreno con un vespaio riempito di pietrame. L'edificio presenta larghe superfici vetrate, principalmente ad ovest, costituite da infissi in doppio vetro (senza intercapedine) di 6 mm, e un telaio in legno. Le larghe superfici vetrate aumentano significativamente i carichi solari gratuiti, ma con un alto rischio di surriscaldamento estivo e di dispersioni termiche elevate in inverno, aumentando il fabbisogno di riscaldamento e la non uniformità termica degli ambienti.

Per evitare il rischio di surriscaldamento in estate sono state adottate delle schermature solari esterne in legno. Queste schermature sono apribili, ma non orientabili, come si vede dalla Figura 1. Per la caratterizzazione delle schermature è

stato necessario il calcolo del fattore di trasmissione luminosa della schermatura al variare di 15° dell'angolo di incidenza della radiazione solare. Il profilo di utilizzazione delle schermature è diverso nella stagione di riscaldamento e di raffrescamento: in inverno sono sempre aperte durante il periodo di occupazione e vengono chiuse di notte per ridurre lo scambio termico radiativo verso la volta celeste diminuendo l'emissività della superficie vetrata; d'estate le schermature vengono chiuse per un radiazione solare $G > 200$ W/m², verosimilmente ad un comportamento dell'utente che chiuda la schermatura solare in presenza di radiazione solare diretta e rischio di abbagliamento.

La definizione dei profili di occupazione, dei carichi termici interni, delle infiltrazioni, ricambi di ventilazione esterna e fabbisogno di ACS sono stati definiti in base alla norma ASHRAE 90.1. Il profilo di occupazione interna è stato definito nei locali occupati con circa una persona ogni 10 m², con un profilo pari al 50% di occupazione dalle 8:00 alle 9:00 AM e dalle 5:00 alle 6:00 PM, e pari al 100% dalle 9:00 AM alle 5:00 PM, dal lunedì al venerdì. Allo stesso modo sono stati definiti il profilo dei carichi termici interni (illuminazione e PC) per un totale di circa 30 W/m² (persone, illuminazione e PC, ripartiti tra carico sensibile e latente). Il carico termico di ventilazione è definito durante il periodo di occupazione di 0,7230 l/sm², corrispondente a 0,8 ACH, ed un fabbisogno di ACS di 0,17 l/h per persona durante il periodo di occupazione.

4. Descrizione delle analisi e dei risultati

La modellazione energetica del caso studio ha come obiettivo la valutazione del progetto e il miglioramento delle prestazioni dell'edificio in termini di fabbisogno energetico, e comfort ambientale interno. In condizioni di riscaldamento è stato valutato il fabbisogno energetico di energia primaria per l'intero edificio (riscaldamento, ACS, elettricità), mentre in estate e nella mezza stagione, in assenza di impianto di climatizzazione, è stato valutato il comfort interno in termini di PMV (considerando dei dati medi di attività, isolamento del vestiario e velocità dell'aria, $met = 1,0$, $clo = 0,69$ e $v_{air} = 0,1$ m/s), e di temperatura dell'aria interna T_a , come numero di ore nella stagione invernale in cui il PMV e la temperatura dell'aria ricadono in un certo range (PMV, da -2,5 a 2,5 ad intervalli di 1,0, $T_a > 26$ °C, con intervalli costanti di 2 °C). In estate il comfort ambientale è stato valutato solamente negli ambienti occupati, durante il periodo di occupazione (8:00 AM - 6:00 PM) (Figura 3). L'analisi ha previsto due fasi: la prima di valutazione del progetto preliminare, la seconda di valutazione delle proposte progettuali atte al miglioramento delle prestazioni energetiche e di comfort dell'edificio.

La valutazione del progetto è stata fatta utilizzando il modulo ApacheSim di IES VE, svolgendo una simulazione

energetica dinamica annuale, dopo aver calcolato, attraverso SunCast, l'irradianza incidente sulle superfici esterne. ApacheSim utilizza un metodo di calcolo implicito alle differenze finite per la risoluzione delle equazioni di Fourier, e due modelli Star Net separati per la risoluzione delle equazioni di scambio termico radiativo e convettivo ad ogni time step. Il time step della simulazione è stato di 10 minuti, e di 1 h l'intervallo di registrazione dei risultati.

I risultati della prima simulazione mostrano un fabbisogno di energia primaria per riscaldamento elevato, 98,82 kWh/m², nonostante la bassa conduttanza dell'involucro opaco (Figura 4). Le alte dispersioni sono dovute a delle caratteristiche prestazionali dell'involucro trasparente molto basse, dovute alla scarsa disponibilità di infissi con vetrocamera. In estate una prima simulazione senza l'uso delle schermature solari ha evidenziato gli elevati problemi di discomfort globale negli ambienti occupati, con un numero di ore relativamente basso nel range di comfort (PMV tra -0,5 e +0,5) corrispondente ad un PPD del 10%. Con più di 1400 ore con temperature sopra i 26°C negli ambienti occupati, con picchi anche di 46 °C, vedi Figura 5. Successive simulazioni sono state effettuate per valutare una possibile ottimizzazione del design attuale per entrambe le stagioni, in termini di orientamento ottimale dell'edificio (superficie vetrata maggiore esposta ad est e nord, oltre che ad ovest, orientamento attuale), all'uso delle schermature solari in estate (per $G > 200 \text{ W/m}^2$), e all'uso della ventilazione naturale in estate con diverse strategie.

I risultati della valutazione del fabbisogno energetico per riscaldamento ed il comfort ambientale interno in estate, per i diversi orientamenti individuano l'orientamento ottimale come quello nord-sud con la maggior area vetrata a sud, con una riduzione del 5% del consumo di energia primaria per riscaldamento, ma per ragioni di configurazione del lotto questa soluzione non è adottabile. Tra i due orientamenti possibile (est e ovest) quello di progetto è il migliore, in quanto in inverno ottimizza l'uso degli apporti solari gratuiti ed in estate sposta i picchi di temperatura dell'aria interna durante le ore pomeridiane di non occupazione; vedi le Figure 6 e 7.

L'uso delle schermature solari in estate è stato quindi valutato sul solo orientamento ovest, con un risultato abbastanza ovvio, permettendo un abbassando i picchi di temperatura dell'ordine di 6-8°C nei giorni estivi più caldi, avendo un miglioramento di circa il 10% sulle condizioni climatiche interne.

Una corretta valutazione del progetto prevede una valutazione dell'effetto della ventilazione naturale in estate, in quanto essa può influenzare significativamente la qualità dell'ambiente interno. Il software IES permette di simulare l'effetto della ventilazione naturale impostando un certo ACH, oppure settando dei profili di apertura delle finestre adatti ai profili di occupazione, e tenendo conto della direzione e

velocità del vento esterni, con il modulo MacroFlo, che utilizza un modello multi-zona. Data l'elevata massa termica interna dell'edificio, sono state valutate diverse strategie di ventilazione (Figura 8): Cross Ventilation CV (apertura del 33% delle finestre, se $T_a > 24^\circ\text{C}$ nel periodo di occupazione), Night Cooling NC (solo ventilazione notturna), CV + NV (la combinazione delle due). Le aperture sono state considerate come delle finestre apribili ad anta con un angolo di 90°. Nelle Figure 8 e 9 si vede come l'utilizzo della ventilazione migliori di molto la qualità dell'ambiente interno in estate, e l'attivazione della massa termica interna attraverso la ventilazione notturna riduca i picchi di temperatura interna soprattutto nelle prime ore della mattina, con una quantità di ore con temperatura $T_a > 28^\circ\text{C}$ di quasi 20.

5. Proposta progettuale

L'alto fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale è imputabile a due fattori principali: l'utilizzo di serramenti con bassissime prestazioni termo fisiche centrali del vetro, e le alte dispersioni per ventilazione naturale con 0,8 ACH nel periodo di occupazione. A causa della non disponibilità di tecnologie standard per diminuire il fabbisogno di energia per il riscaldamento, come serramenti a prestazioni più elevate e soluzioni impiantistiche più innovative e che sfruttino fonti di energia rinnovabili, è stato necessario analizzare soluzioni passive e tradizionali, atte a migliorare le prestazioni dell'involucro globalmente, in termini di fabbisogno di riscaldamento e comfort termico estivo. In più si è rilevato come le potenzialità della ventilazione in estate fossero limitate dal fatto che le aperture sulle due facciate opposte est e ovest non fossero spesso comunicanti, e dalla presenza di un'area di aperture maggiore sulla superficie sottovento (a ovest), rispetto a quella sopravvento (est) per un periodo di tempo maggiore, non ottimizzando la ventilazione in base alla direzione principale del vento. Lo strumento software e l'approccio progettuale hanno permesso una valutazione della qualità del progetto attraverso non solo l'analisi del fabbisogno energetico e la qualità dell'ambiente interno, ma anche considerando la capacità dell'edificio di ottimizzare i potenziali apporti gratuiti disponibili in situ. La quantità di variabili ambientali e di progetto di input interne ed esterne, e dei risultati, ha permesso di individuare le variabili ambientali più penalizzanti per la prestazione energetica dell'edificio, individuando in queste una possibilità di migliorare la performance ambientale dell'edificio, intervenendo su di esse con una riprogettazione delle parti di involucro che più potrebbero influenzarle.

Tra le diverse soluzioni proposte, l'interazione con i progettisti ha indirizzato la scelta per la valutazione successiva e le analisi parametriche, verso delle proposte progettuali più adatte allo stato di avanzamento della progettazione,

A&RT

arrivata ormai ad un livello definitivo, individuando quelle che potevano essere le soluzioni meno invasive e che modificassero il meno possibile il progetto attuale, e con un impatto architettonico minore.

Tutte le suddette valutazioni sono state svolte sulle seguenti proposte:

- 1) aumento della capacità termica e delle prestazioni dell'involucro opaco: tetto verde;
- 2) diminuzione delle perdite di ventilazione attraverso il preriscaldamento dell'aria in inverno: muri di Trombe localizzati ad est in relazione alla maggior superficie opaca disponibile ed al periodo di occupazione solamente diurno del tipo di edificio;
- 3) aumento degli apporti gratuiti di ventilazione dall'aria esterna in estate: scambio termico aria-terreno prima di essere immessa in ambiente, con soluzioni del tipo Earth Tube;
- 4) aumento della portata d'aria di ventilazione: connessione tra le due facciate opposte est-ovest, con l'introduzione di un plenum nel contro soffitto del corridoio, comunicante con gli uffici e l'esterno attraverso aperture nella parte alta dei locali e della facciata;
- 5) aumento della portata di aria di ventilazione: corretto orientamento e dimensionamento delle aperture rispetto alla direzione principale del vento;

- 6) miglioramento delle prestazioni termo fisiche dell'involucro trasparente e diminuzione delle perdite per ventilazione: componente di involucro dinamico (Passive Double Skin Façade DSF) ottenuto raddoppiando il serramento (telaio + vetro) ad una distanza di 20 cm sul lato interno e introducendo delle griglie operabili in legno in alto ed in basso su entrambi i serramenti per la gestione giornaliera e stagionale della ventilazione naturale in intercapedine, e tra l'intercapedine e l'ambiente interno ed esterno.

Le soluzioni che sono state scelte per un'ulteriore valutazione riguardo le prestazioni in termini di fabbisogno energetico invernale e comfort ambientale estivo, sono state le numero 4, 5 e 6 per i motivi sopra riportati. In particolare la soluzione 6 è stata individuata come quella con le possibilità maggiori di migliorare le prestazioni dell'edificio per diversi aspetti: la diminuzione della conduttanza dell'involucro trasparente; la possibilità di preriscaldare l'aria di ventilazione igienica in inverno (aprendo la griglia di ventilazione interna in alto solo nelle ore pomeridiane in cui c'è radiazione solare diretta); la possibilità di ridurre l'apporto solare estivo attraverso una strategia Outdoor Air Curtain OAC (utilizzando le schermature solari esterne combinate all'apertura delle griglie esterne di ventilazione dell'intercapedine in alto ed in basso).

Figura 6. Confronto tra il fabbisogno energetico per riscaldamento per i diversi orientamenti.

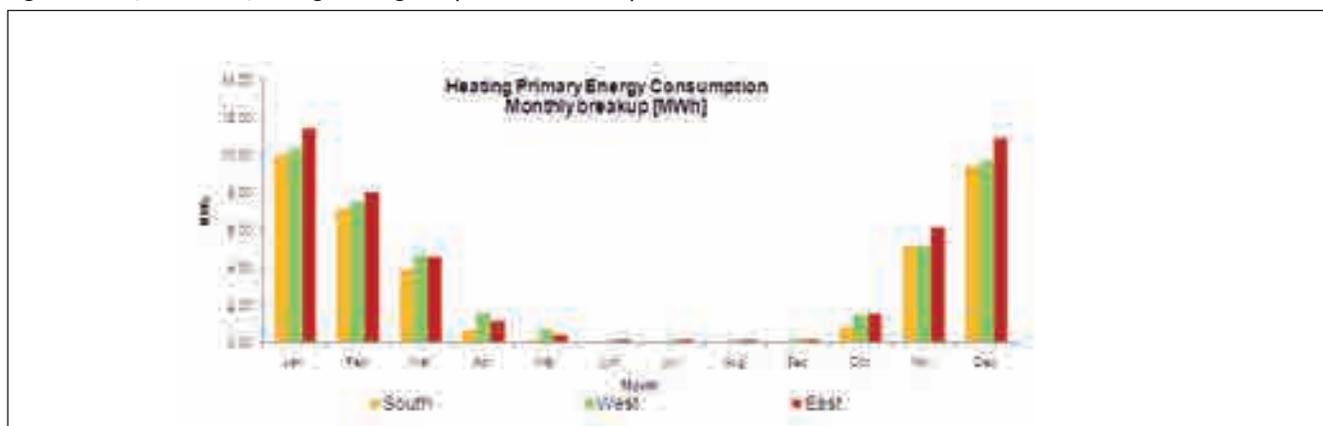
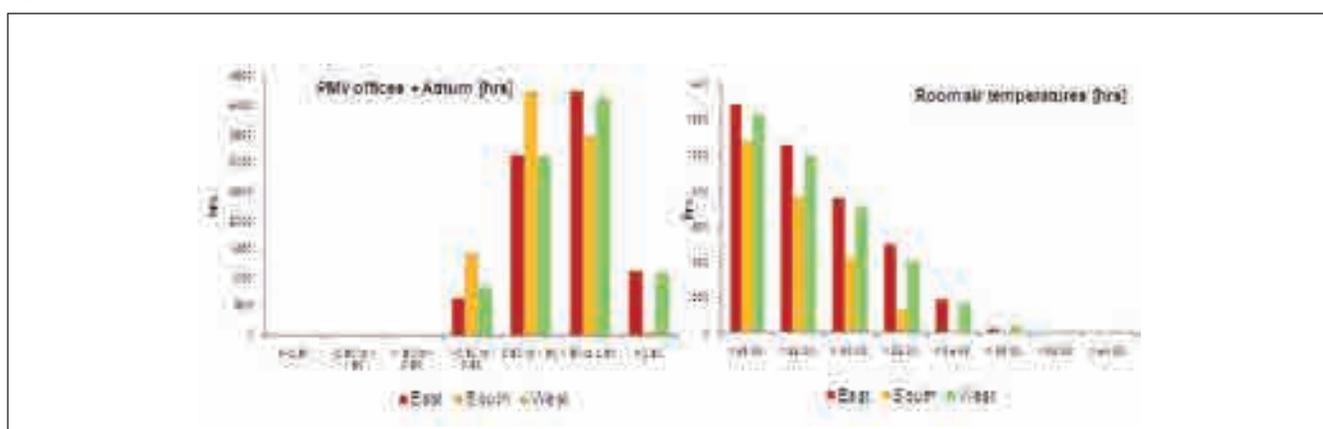


Figura 7. Confronto delle condizioni di comfort ambientale interno per i tre orientamenti.



6. Descrizione del modello

Sia il raddoppio dell'infisso, che l'introduzione di aperture operabili per la ventilazione, nel serramento e come connessione tra le due facciate opposte, è stato modellato geometricamente all'interno del modulo ModelIT del software IES VE. Questa scelta è stata subordinata dal fatto che era necessaria una modellazione geometrica molto basica e all'impossibilità, da parte del software di modellazione geometrica BIM REVIT, di modellare dei locali con una dimensione inferiore a 0,30 m, come l'intercapedine. Una difficoltà è stata però incontrata nella modellazione geometrica dell'intercapedine ventilata con IES VE, riguardante le semplificazioni adottate dal metodo di calcolo Multi Zona per la ventilazione naturale. Il metodo multizona usato dal software è basato sul fatto che il flusso d'aria attraversa un'apertura piccola rispetto ai volumi che mette in comunicazione. Per raggiungere un buon modello si è dovuto quindi agire sulla dimensione delle aperture e dell'intercapedine. In particolare la profondità dell'intercapedine è stata modificata

per tener conto delle perdite di carico per attrito dovute alle pareti e alle ostruzioni dell'intercapedine. In realtà, l'attrito sarebbe distribuito lungo tutta la lunghezza delle pareti, ma in MacroFlo deve essere aggregato nelle aperture. La sezione dell'intercapedine è stata così aumentata da 200 a 320 mm di profondità per tener conto delle perdite di portata dovute all'attrito e alle ostruzioni nell'intercapedine, basandosi sul principio di conservazione della massa. Il fattore di attrito della cavità è stato calcolato usando l'equazione di Colebrook-White per regime turbolento in condotto scabro.

I profili di apertura delle griglie per la ventilazione sono stagionali: in riscaldamento sono aperte la griglia inferiore del serramento esterno e superiore del serramento interno dalle 2:00 PM alle 6:00 PM sul lato ovest, e dalle 09:00 AM all'1:00 PM sul lato est, mentre in estate sono aperte solamente le griglie superiore ed inferiore del serramento esterno durante tutto il periodo di occupazione dell'edificio, per permettere l'adozione della strategia OAC. Le

Figura 8. Schemi esemplificativi delle strategie di ventilazione nella stagione estiva.

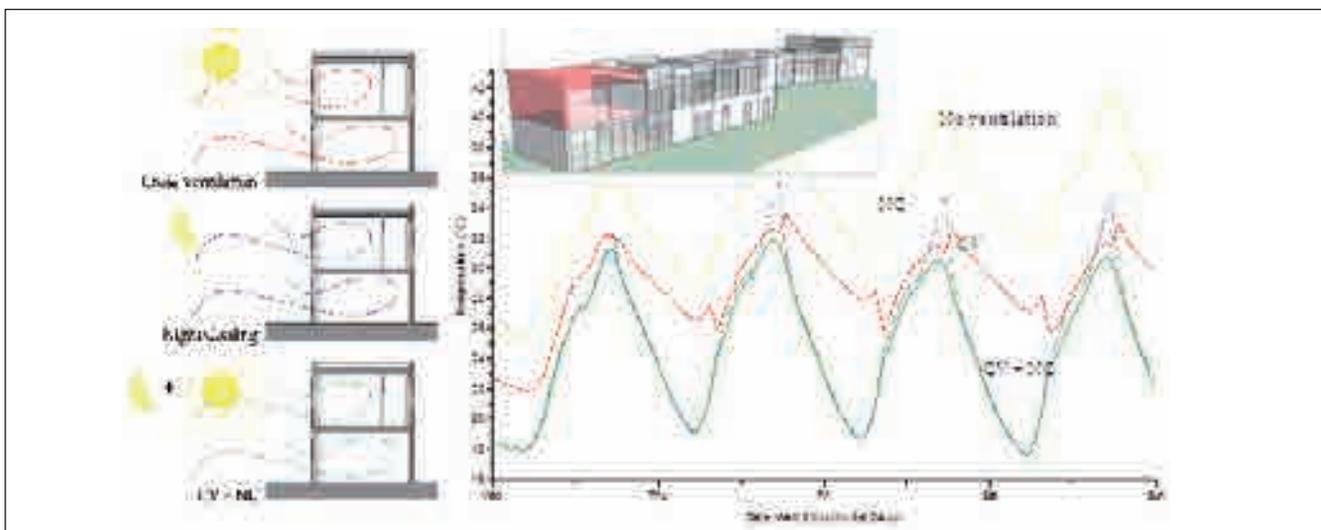
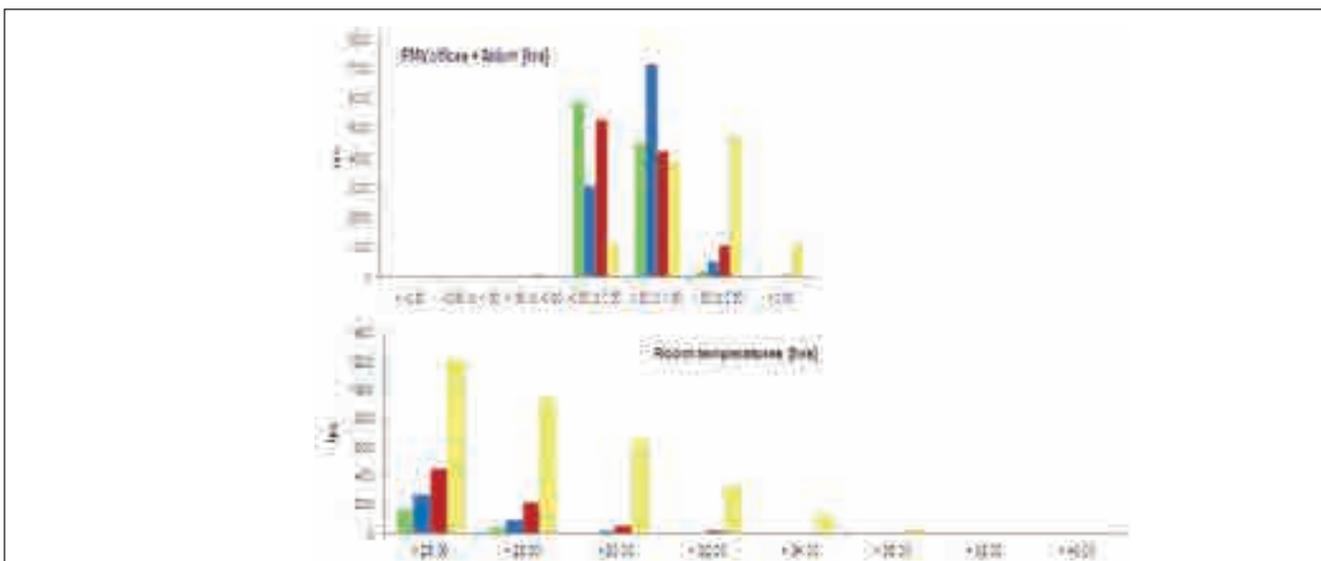


Figura 9. Valutazione del comfort termico ambientale estivo per le diverse strategie di ventilazione.



A&RT

schermature solari esterne sono utilizzate in riscaldamento di notte, per ridurre lo scambio termico radiativo notturno, e d'estate di giorno quando $G > 200 \text{ W/m}^2$.

La superficie di aperture sulla facciata di estrazione dell'aria è stata aumentata di concerto con i progettisti architettonici per garantire un'integrazione ottimale con il disegno architettonico della facciata, inserendo 12 aperture di dimensioni $0,80 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}$, per un totale di $3,84 \text{ m}^2$ in più di superficie di estrazione dell'aria di ventilazione naturale in estate.

7. Analisi della proposta progettuale e risultati

La valutazione delle proposte progettuali introdotte è fatta con lo stesso metodo di valutazione del progetto definitivo, in termini di fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e di comfort ambientale interno in termini di numero di ore nel range di comfort, dei locali occupati, durante il periodo di occupazione.

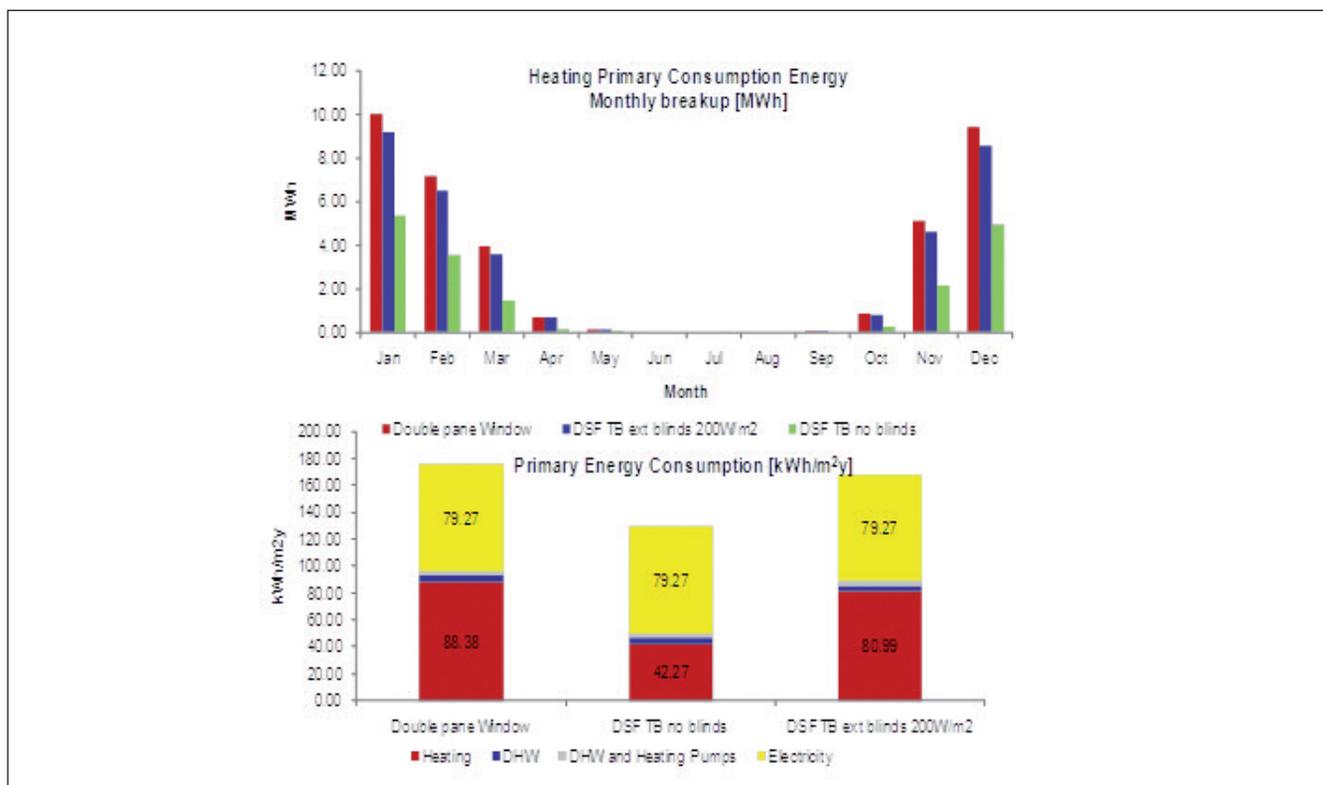
Le simulazioni sono state effettuate per le seguenti soluzioni:

- 1) DSF TB (Double Skin Façade con strategia Thermal Buffer) + schermature esterne per $G > 200 \text{ W/m}^2$;
- 2) DSF TB senza schermature esterne;
- 3) OAC (DSF con strategia di ventilazione Outdoor Air Curtain);
- 4) OAC + CV (DSF in OAC accoppiato alla Cross Ventilation nel periodo di occupazione con il 33% delle superfici vetrate apribili);
- 5) OAC + CV + NV (DSF in OAC con la combinazione dei due tipi di ventilazione naturale per l'ambiente interno);

- 6) OAC + CV + opening east (DSF in OAC+CV con $3,84 \text{ m}^2$ di aperture in più sulla facciata di estrazione, est);
- 7) OAC + CV + opening west (DSF in OAC+CV con $3,84 \text{ m}^2$ di aperture in più sulla facciata di estrazione, orientamento est-ovest opposto a quello di progetto, ovest-est);
- 8) OAC + CV + NV + opening east (DSF in OAC+CV+NV con $3,84 \text{ m}^2$ di aperture in più sulla facciata di estrazione, est);
- 9) OAC + CV + NV + opening west (DSF in OAC+CV+NV con $3,84 \text{ m}^2$ di aperture in più sulla facciata di estrazione, orientamento est-ovest opposto a quello di progetto, ovest-est).

La comparazione delle soluzioni 1 e 2 con il progetto attuale per quanto riguarda il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento denota come l'effetto di diminuzione della conduttanza della parete con l'adozione di un doppio serramento sia relativamente basso, con una riduzione del 10% del fabbisogno di riscaldamento, se sono utilizzate le schermature solari. Ottimizzando gli apporti solari gratuiti invernali si riesce ad ottenere una riduzione del 60% del fabbisogno di riscaldamento, dovuta al preriscaldamento dell'aria in intercapedine, che permette di diminuire sia la perdite per conduzione attraverso l'involucro trasparente, che le perdite per ventilazione (Figura 10). Dal confronto della soluzione DSF accoppiata alla ventilazione naturale, e la soluzione con facciata tradizionale con la ventilazione naturale, si nota un peggioramento delle

Figura 10. Confronto tra le soluzioni 1, 2 e il progetto attuale.



condizioni in termini di comfort ambientale estivo. Ciò è dovuto alla diminuzione del flusso di ventilazione determinato dalle perdite di carico introdotte dal doppio infisso e dalla minore superficie disponibile.

L'introduzione delle aperture nelle soluzioni 6 e 8, ed il diverso orientamento verso la direzione principale del vento nelle soluzioni 7 e 9, aumentano di poco la portata d'aria per la ventilazione naturale. L'orientamento migliore risulta comunque essere quello ovest di progetto per la maggiore coincidenza giornaliera tra apporti solari e periodo di occupazione, e per lo sfasamento giornaliero tra apporti solari e direzione e intensità principale del vento.

Dal confronto di tutte le soluzioni in termini di prestazioni energetiche e di comfort ambientale, in Figura 11, si evince come la soluzione con il più alto impatto energetico e sulla qualità ambientale, allo stesso tempo, sia la soluzione 8 accoppiata con la 2, consistente in una DSF passiva accoppiata con la ventilazione diurna e notturna in estate e con una maggiore superficie di aperture sulla facciata di estrazione, mantenendo l'orientamento di progetto ovest-est.

Conclusioni

Il caso studio presentato ha avuto come oggetto la valutazione della performance energetica e di qualità dell'ambiente interno del progetto definitivo dell'edificio Sede del Central Karakorum National Park e la valutazione di possibili soluzioni migliorative del progetto in fase esecutiva. In particolare si è valutato il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento nella stagione invernale ed il comfort

termo igrometrico degli ambienti attraverso l'indice PMV, secondo la normativa ASHRAE 90.1.

L'adozione di un sistema passivo di involucro dinamico DSF, e la corretta progettazione dell'integrazione con la strategia di ventilazione e l'utilizzo delle schermature in inverno ed in estate, ha portato ad una riduzione dei consumi di energia primaria per il riscaldamento del 60%, ed un significativo miglioramento in termini di comfort estivo degli ambienti. Ciò è stato possibile da un lato ottimizzando il design attuale e apportando pochi miglioramenti ad esso, grazie all'utilizzo delle potenzialità del software di simulazione energetica dinamica. Esso ha permesso di individuare le variabili ambientali e di progetto maggiormente influenzanti la performance dell'edificio, e di formulare e valutare dal punto di vista energetico e di qualità ambientale le soluzioni proposte in fase esecutiva.

L'inserimento di questo processo di progettazione integrata tra la fase di progettazione definitiva ed esecutiva ha ridotto le potenzialità ed il campo di azione dell'utilizzo di strumenti di analisi energetica dinamica, riducendo la possibilità di scelta tra le soluzioni progettuali possibili.

Il caso studio ha messo in luce le potenzialità di una progettazione integrata, le potenzialità del software nell'ambito della modellazione e della progettazione, le limitazioni derivanti dall'adozione di un metodo del genere in fase avanzata, e le limitazioni del software nell'ambito della progettazione e della modellazione. Molta strada è infatti ancora da percorrere nella direzione di aiutare e indirizzare le scelte progettuali in relazione ad un grado di definizione del progetto sempre minore, e nella modellazione di soluzioni

Figura 11. Tabella riassuntiva delle condizioni di temperatura e comfort interno estivo delle stanze di tutte le soluzioni analizzate.

		Tg	+28.00	+28.00	+30.00	+32.00	+34.00	+36.00	+38.00	+40.00
Progetto Attuale	CV+NV		185	40	6	0	0	0	0	0
	NV		273	90	20	0	0	0	0	0
	CV		453	238	98	18	3	0	0	0
	Schermature G>200W/m ²		1214	851	890	882	222	23	7	
	8 OAC+CV+NV+opening west		151	26	0	0	0	0	0	0
	8 OAC+CV+NV+opening east		146	24	1	0	0	0	0	0
	7 OAC+CV+opening west		242	100	28	0	0	0	0	0
	6 OAC+CV+opening east		354	101	19	0	0	0	0	0
	5 OAC+CV+NV		180	25	1	0	0	0	0	0
	4 OAC+CV		401	121	21	0	0	0	0	0
3 OAC		1100	796	446	144	10	4	0	0	
Progetto Integrato	CV+NV		0	0	31	588	402	201		
	NV		0	0	0	307	124	48		
	CV		0	0	30	307	450	104		
	Schermature G>200W/m ²		0	0	0	1115	895	467		
	8 OAC+CV+NV+opening west		0	0	30	515	364	120		
	8 OAC+CV+NV+opening east		0	0	31	508	374	111		
	7 OAC+CV+opening west		0	0	0	303	404	418		
	6 OAC+CV+opening east		0	0	0	219	407	484		
	5 OAC+CV+NV		0	0	30	305	325	240		
	4 OAC+CV		0	0	0	180	389	511		
3 OAC		0	0	0	160	426	400			
Progetto Definitivo	CV+NV		0	0	31	588	402	201		
	NV		0	0	0	307	124	48		
	CV		0	0	30	307	450	104		
	Schermature G>200W/m ²		0	0	0	1115	895	467		
	8 OAC+CV+NV+opening west		0	0	30	515	364	120		
	8 OAC+CV+NV+opening east		0	0	31	508	374	111		
	7 OAC+CV+opening west		0	0	0	303	404	418		
	6 OAC+CV+opening east		0	0	0	219	407	484		
	5 OAC+CV+NV		0	0	30	305	325	240		
	4 OAC+CV		0	0	0	180	389	511		
3 OAC		0	0	0	160	426	400			

Limiti e prospettive della progettazione illuminotecnica assistita da computer

Drawbacks and perspectives of the use of computer simulations in lighting design

ANNA PELLEGRINO

La progettazione illuminotecnica si avvale sempre più frequentemente di strumenti informatici, sia per le fasi di valutazione quantitativa e quindi per il dimensionamento e la verifica dei sistemi di illuminazione, che per la comunicazione dell'idea progettuale dal designer al committente o all'utente finale.

Oggi il progettista può scegliere tra numerosi programmi in grado di sviluppare calcoli illuminotecnici e/o di restituire immagini più o meno foto realistiche del risultato del progetto. La scelta dello strumento da utilizzare dipende dall'obiettivo e dalla fase del percorso progettuale, e presuppone una capacità critica di interpretazione delle caratteristiche del programma.

Nell'articolo sono descritte le tipologie di strumenti informatici disponibili, distinguendo innanzitutto tra strumenti per la rappresentazione (programmi di rendering) e per il calcolo illuminotecnico (programmi di simulazione), evidenziando inoltre i fattori che maggiormente influiscono sull'accuratezza del risultato.

The process of lighting design is, more and more frequently, assisted by design software for both quantitative assessments and ideas communication to clients and final users. Today the lighting designer can choose among several programs, which are able to perform lighting calculation and/or to produce more or less photorealistic images of the designed environment. The choice of the type of software depends on both the phase of the design process and the simulation goal, and it requires the user to have a sound awareness of the software characteristics.

The paper presents the most popular lighting software, trying to emphasise the differences between those oriented to rendering and those oriented to calculations, and highlighting the factor that could affect the results accuracy.

*Anna Pellegrino, professore associato presso il Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura. Svolge la propria attività nel campo dell'illuminotecnica: con riferimento all'illuminazione naturale e artificiale di ambienti interni ed esterni.
anna.pellegrino@polito.it*

Premessa

Prima di entrare nello specifico della descrizione degli strumenti di simulazione utilizzati in ambito illuminotecnico può essere utile fare una breve premessa sul significato del progetto della luce e sugli "strumenti", in senso lato, necessari durante le diverse fasi del percorso progettuale.

Oggi il progettista illuminotecnico è chiamato a operare in ambiti differenti e sovente con molteplici finalità: dal progetto di illuminazione funzionale per spazi di lavoro, al progetto dell'illuminazione urbana di carattere funzionale ma con sempre maggiori valenze di valorizzazione del contesto, fino al progetto di light-art. Il ruolo del progettista illuminotecnico non è più solo di carattere tecnico, così come non è solo di tipo artistico, ma converge sempre più verso quello di una figura capace di combinare la sensibilità estetica con la capacità di valutazione tecnica. Le attitudini, le conoscenze e gli strumenti necessari per rispondere efficacemente alle esigenze e alle attese relative ad un ventaglio così ampio di scenari di progetto risultano quindi

A&RT

essere numerose e piuttosto diversificate.

Il progetto illuminotecnico richiede innanzitutto creatività. Un progetto di “successo”, al di sopra della media, è quello che, oltre a rispondere alle esigenze di carattere funzionale, è in grado di raccontare una storia, attirare l'attenzione, provocare stupore, stimolare sensazioni, pur mantenendo la sobrietà necessaria a non trasformare l'illuminazione di un luogo in un gioco forzato di luce e colore, destinato a stancare nel tempo.

Ciononostante la creatività di per sé non è sufficiente. Il progettista deve disporre di conoscenze tecniche, e non solo in ambito illuminotecnico, poiché il progetto della luce interessa l'individuo e il suo ambiente di vita e pertanto richiede, oltre alla capacità di valutare lampade, apparecchi, sistemi di illuminazione ecc., la capacità di interpretare le esigenze dell'utente e le peculiarità, la storia, le valenze dell'ambiente cui il progetto della luce si applica.

Una volta sviluppata l'idea progettuale e scelta la soluzione tecnica per realizzarla, è necessario avere la capacità di valutare il risultato delle proprie proposte. In alcuni casi l'esperienza e la pratica sono sufficienti a garantire l'efficacia del progetto, ma nella maggior parte dei casi la rispondenza della soluzione ai requisiti normativi e al concept del progetto deve essere verificata mediante il calcolo e la simulazione numerica.

Un ulteriore strumento, essenziale durante il percorso di progettazione della luce, è la capacità di comunicazione del progetto. La luce è un materiale molto particolare: «the light is the unseen partner of the architectural process that calls everything into view except itself. The paradox leads to a central concern of the lighting profession. How should designers communicate their ideas? How can they address the imagination and intuition of people without a design background and help them understand a concept? How can client appreciate the value of light when it cannot itself be seen, touched, heard or felt?». La capacità di comunicare il progetto, ed in particolare l'idea di illuminazione o il risultato della scelta progettuale risulta fondamentale e vincente nel rapporto con la committenza: «[...] a lighting designer has to bring to the table the ability to communicate a concept very clearly. [...] Often we'll have only one or two key presentations at the early stages so we have to make sure those presentations are absolutely right» (Mark Majors of Speirs and Majors Associates) (Lilley et al. 2009).

Gli ultimi due aspetti trattati, la valutazione e la comunicazione del progetto, sono quelli in cui l'uso di strumenti informatici risulta attualmente più diffuso ed efficace.

1. Tipologie di strumenti informatici a supporto del progetto della luce

Esistono diverse tipologie di software a supporto del progetto della luce ed in particolare si può distinguere tra i software per il calcolo illuminotecnico e quelli per la rappresentazione o il rendering dell'idea di progetto. Nel primo caso l'obiettivo è la quantificazione del fenomeno fisico di interazione della luce emessa dalle sorgenti con oggetti, superfici e materiali, nel secondo caso l'obiettivo principale è la rappresentazione dell'ambiente illuminato, fedele, non necessariamente al fenomeno fisico, quanto piuttosto all'idea che il progettista ha del risultato finale atteso.

Gli ambiti di applicazione delle due tipologie di programmi sono generalmente differenti: i primi, poiché consentono di calcolare la distribuzione degli illuminamenti o delle luminanze in ambiente, sono fondamentali nelle fasi di dimensionamento e verifica delle prestazioni dei sistemi di illuminazione, i secondi per la messa a punto e la comunicazione dell'idea progettuale. Per comprendere la differenza tra i due approcci è opportuno richiamare alcuni concetti riguardanti l'illuminazione di spazi confinati. La luce proveniente dalle sorgenti, naturali o artificiali, viene riflessa e/o trasmessa da ciascun elemento di ciascuna superficie con intensità e direzione variabili a seconda delle caratteristiche ottiche dei materiali. Questo processo continua fino all'estinzione dovuta all'assorbimento complessivo della radiazione. Il risultato di questo fenomeno fisico di interazione luce-superfici determina la condizione finale di illuminazione dell'ambiente. La quantità di luce risultante in ciascun punto è data pertanto dalla somma della luce che giunge secondo un percorso diretto dalle sorgenti e quella che vi giunge per riflessione multipla da tutti gli elementi di tutte le superfici che delimitano l'ambito di propagazione della luce.

La precisione della simulazione della luce dipende pertanto dall'accuratezza di alcune fasi o aspetti del processo di simulazione:

- descrizione geometrica dell'ambito di propagazione della luce;
- caratterizzazione fotometrica delle sorgenti di luce;
- caratterizzazione ottica delle superfici;
- algoritmo di simulazione del fenomeno fisico di interazione luce-superfici.

Gli strumenti a supporto della progettazione illuminotecnica per la rappresentazione fotorealistica o la simulazione della luce presentano, in rapporto a ciascuno di questi aspetti, gradi di accuratezza diversi; complessità di applicazione, tempi di calcolo e oggettività del risultato variano sensibilmente nei due casi e ciò implica la necessità di una conoscenza approfondita delle caratteristiche del programma utilizzato, nell'ottica di una scelta consapevole in rapporto ai risultati attesi.

2. Strumenti per la rappresentazione degli ambienti illuminati

Gli strumenti per la rappresentazione dell'ambiente illuminato possono andare dal disegno (Figura 1) alle tecniche di rendering fotorealistico, ciò che conta non è la quantificazione della luce ma la visualizzazione dell'ambiente e delle superfici illuminate secondo l'idea del progettista (Figura 2).

Per quanto riguarda gli strumenti informatici esistono numerosi programmi a supporto di questa esigenza progettuale. In alcuni casi si può ricorrere a programmi come Photoshop® che sostituiscono la rappresentazione a mano libera consentendo di "disegnare" la luce su immagini bidimensionali o tridimensionali tratte da modelli CAD o da immagini fotografiche dell'ambiente oggetto di studio. In altri casi vengono invece utilizzati programmi in grado di simulare, in modo più o meno semplificato, il fenomeno fisico, per ottenere un livello maggiore di verosimiglianza.

Sovente in questi programmi viene dato maggior peso alla simulazione della componente diretta di illuminazione semplificando notevolmente la componente riflessa e trasmessa dalle superfici, poiché questa costituisce la parte del fenomeno fisico più lunga e complessa da riprodurre. Anche l'accuratezza nella caratterizzazione fotometrica delle sorgenti di luce non è sempre considerata prioritaria, mentre maggior attenzione è data alla caratterizzazione delle proprietà ottiche dei materiali, sia per quanto riguarda la caratterizzazione cromatica che la modalità geometrica di trasmissione e riflessione della luce.

Parlando di renderizzazione fotorealistica la gamma di programmi disponibili è ampia, e molto varia in termini di complessità di utilizzo e qualità dei risultati. Si possono realizzare rendering con programmi tipicamente utilizzati in ambito architettonico (Autocad®, Revit®, Sketchup® ecc.), fino ad arrivare a programmi di modellazione, animazione e computer graphic, basati su motori di rendering più sofisticati e coerenti con il comportamento fisico della luce (3Ds Max®, Rhino®, Maya 3D, Blender, ecc., compatibili con motori di rendering quali Indigo, Kerkythea, LuxRender, ecc.).

3. Programmi per la simulazione e il calcolo illuminotecnico

Nei programmi per la simulazione e il calcolo illuminotecnico, il principale risultato atteso è il dato quantitativo, espresso come distribuzione dei valori di illuminamento o luminanza delle superfici dell'ambiente.

L'accuratezza del calcolo ancora una volta dipende dai fattori citati in precedenza, ed in particolare dalle caratteristiche dell'algoritmo utilizzato per simulare il fenomeno fisico di interazione luce-superfici.

In realtà l'algoritmo di riferimento per la simulazione

della luce è unico, sia che si tratti di rendering che di calcolo della luce, ciò che cambia è il modo in cui viene sviluppato e semplificato per ottenere il tipo di risultato atteso.

Nei casi di maggior semplificazione si utilizzano algoritmi di illuminazione locale, in cui viene data prevalenza all'illuminazione diretta e alla prima riflessione da parte delle superfici, correggendo poi la verosimiglianza del risultato mediante l'introduzione di una illuminazione fittizia ambientale (ambient light). Una maggior fedeltà al fenomeno fisico si ottiene con gli algoritmi di illuminazione globale tra i quali quelli più conosciuti e diffusi sono il radiosity e il ray tracing.

Il radiosity è un algoritmo sviluppato in ambito ingegneristico negli anni '50 per calcolare lo scambio radiativo tra le superfici e in seguito, negli anni '80, adottato nel settore della computer graphic per la produzione di immagini (Cohen et al. 1993). Il termine radiosity si riferisce alla misura della radianza ovvero l'energia che lascia l'unità di superficie nell'unità di tempo. La realizzazione dell'immagine si basa pertanto su di un bilancio energetico tra radiazione emessa, riflessa e assorbita dalle superfici. L'equazione dell'algoritmo di radiosity è derivata dall'equazione generale di rendering in base all'assunzione che tutte le superfici presenti nella scena abbiano una modalità di riflessione perfettamente diffondente (superfici Lambertiane). Il bilancio energetico viene sviluppato suddividendo le superfici in elementi e calcolando per ciascun elemento la quantità di energia ricevuta (dalle sorgenti e dagli altri elementi di superficie) e quindi riflessa. Il processo di calcolo termina quando la componente residua riflessa tende a zero (Figura 3).

Tra i vantaggi di questo approccio si cita l'indipendenza del risultato dal punto di osservazione (è possibile cambiare punto di vista senza dover ripetere il calcolo), mentre tra i limiti l'impossibilità di tener conto delle effettive modalità di riflessione angolare delle superfici e quindi l'impossibilità di simulare comportamenti di riflessione non perfettamente diffondenti (ad esempio speculari o misti) e la necessità di una suddivisione molto elevata delle superfici in prossimità delle zone d'ombra per evitare la presenza, nell'immagine finale, di ombre frammentate. Ciascun elemento di superficie assume infatti nel calcolo un valore unico di radianza.

Gli algoritmi di ray tracing si basano sulla ricostruzione del percorso fatto dalla luce seguendone i raggi durante le interazioni con le superfici. Il colore e la luminanza di ciascun punto della superficie viene determinato in base alle caratteristiche delle superfici e delle sorgenti che il raggio incontra lungo il percorso. Esistono due modelli di ray tracing: il forward ray tracing (o light based ray tracing) e il backwards ray tracing (o eye-based ray tracing). Nel primo caso viene seguito il percorso della luce dalla sorgente alle superfici, nel secondo viene tracciato il percorso inverso, dall'osservatore, attraverso ogni pixel dello

A&RT

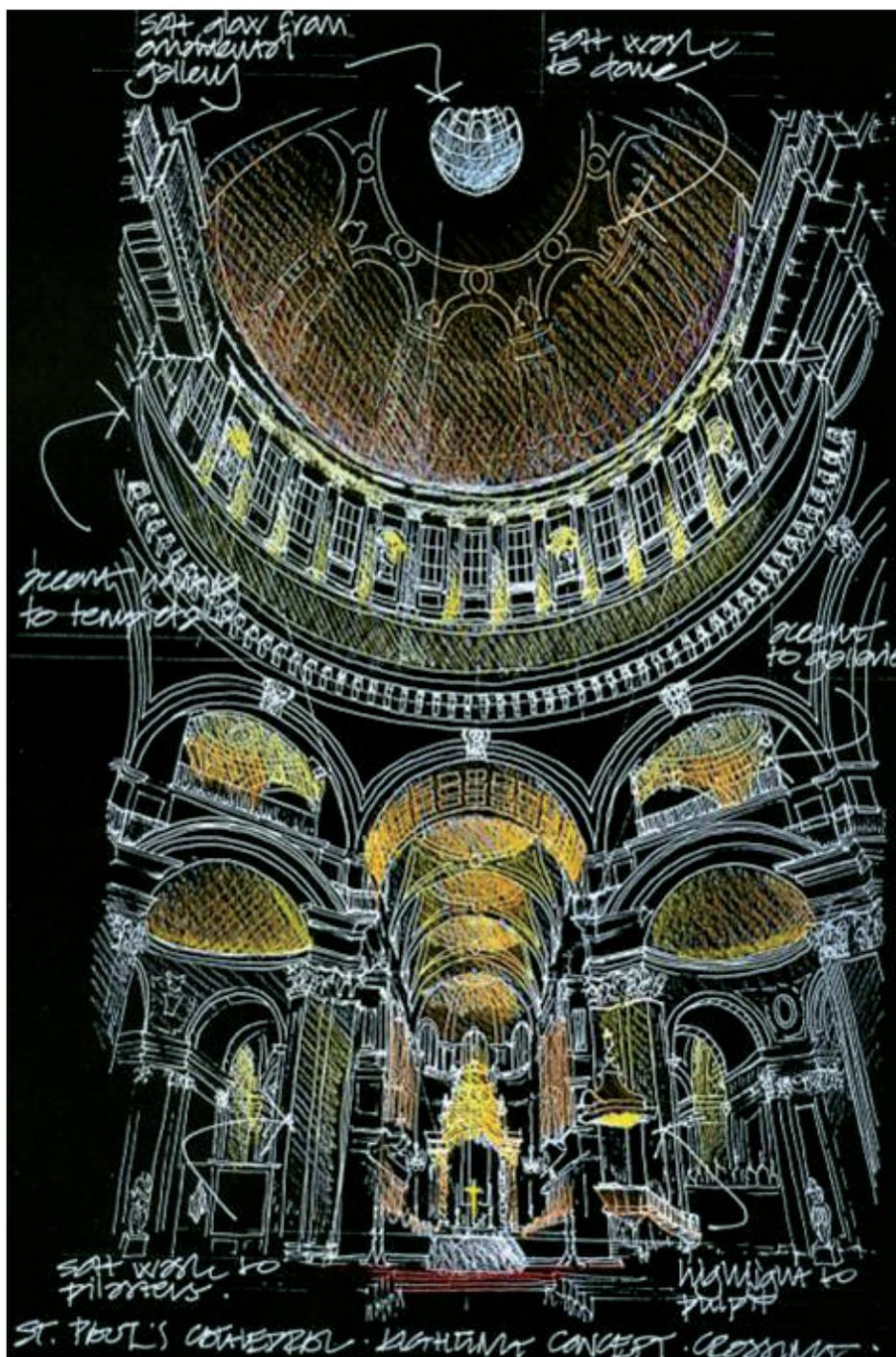
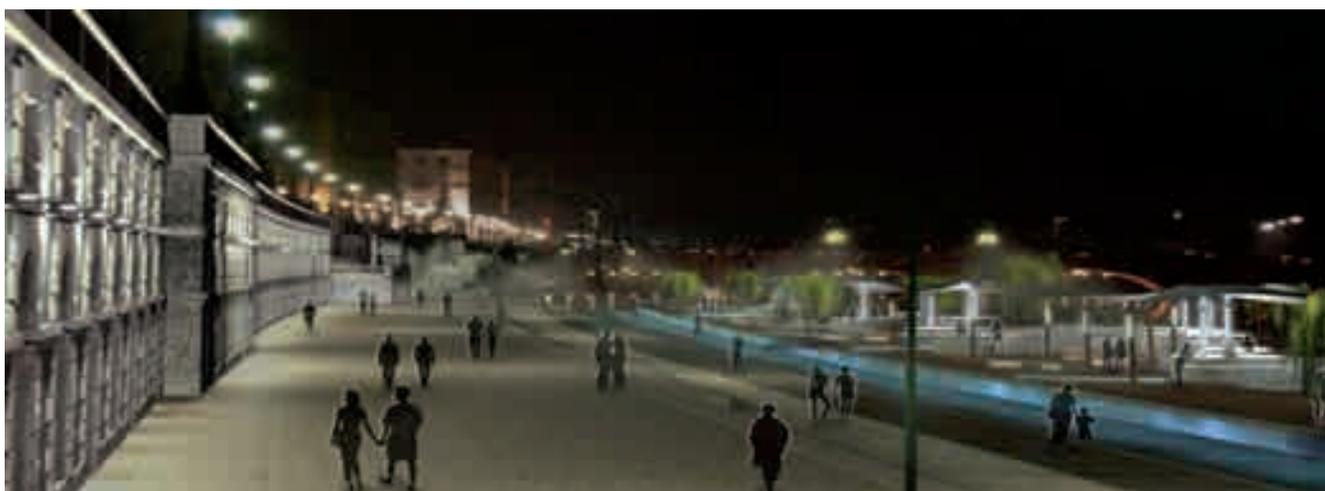


Figura 1. Rappresentazione mediante disegno a mano libera dell'idea di progetto della luce (Speirs and Major Associates, St. Paul's Cathedral, Londra [9]).

Figura 2. Rappresentazione fotorealistica, non basata su calcolo illuminotecnico, dell'idea di illuminazione sviluppata nelle fasi di concept design (progetto realizzato nel Corso di Laurea di Ecodesign, Modulo Interni-Esterni, Politecnico di Torino). (pagine 284-285).



schermo, verso le superfici e gli oggetti presenti nella scena e quindi verso le sorgenti (Figura 4). Il backwards ray tracing consente, rispetto al forward ray tracing, un considerevole risparmio di tempo nella costruzione dell'immagine poiché vengono seguiti solo quei raggi di luce che effettivamente raggiungono l'osservatore determinando l'immagine percepita.

Generalmente il ray tracing consente di simulare in modo efficace comportamenti di riflessione speculare o di rifrazione di superfici opache o trasparenti, di delineare in modo netto la proiezione delle ombre, e di calcolare le riflessioni multiple tra diverse superfici attraverso l'applicazione ricorsiva del metodo. Il calcolo della luce indiretta, e quindi l'accuratezza finale del risultato, può risultare però piuttosto semplificata, soprattutto qualora non si sia disposti ad accettare dei tempi di elaborazione molto lunghi. Inoltre, poiché il rendering viene fatto a partire dall'occhio dell'osservatore e considerando solo i raggi che lo raggiungono, l'intera simulazione deve essere ripetuta qualora si modifichi il punto di vista.

Più recentemente sono stati sviluppati nuovi algoritmi di illuminazione globale come ad esempio il Photon mapping o il Metropolis sampling in grado di migliorare la riproduzione di particolari comportamenti di interazione luce-superfici (ad esempio caustiche, scattering, ecc.) o di ottimizzare la distribuzione probabilistica dei raggi tracciati nella renderizzazione con il ray tracing e riducendo quindi i tempi necessari per ottenere un risultato accurato. I programmi di calcolo illuminotecnico utilizzano gli algoritmi descritti, singolarmente o in modo combinato, adottando però diversi gradi di semplificazione in funzione dell'ambito di applicazione e del risultato atteso (Figura 5). Tra questi programmi è possibile fare un'ulteriore distinzione che riguarda i programmi prevalentemente finalizzati alla progettazione e/o verifica dei sistemi di illuminazione (naturali e artificiali) e i software di simulazione di una scena di luce. I primi generalmente sviluppano il calcolo illuminotecnico con l'obiettivo di fornire risultati dettagliati e sintetici in termini di valori di illuminamento, luminanza, indici di abbagliamento e

quant'altro possa essere necessario per una verifica della rispondenza del sistema di illuminazione ai requisiti di progetto. Sovente questi programmi forniscono anche una rappresentazione della scena illuminata, ma le semplificazioni previste negli algoritmi di calcolo e nella caratterizzazione ottica dei materiali le rende spesso poco verosimili. Peraltro l'obiettivo di questi programmi è quello di fornire risultati quantitativi sufficientemente accurati in un tempo contenuto, tale cioè da consentire eventualmente di modificare il progetto e ripetere le simulazioni fino a raggiungere il risultato atteso.

Nella seconda categoria rientrano invece programmi utilizzati sia per il calcolo che per la rappresentazione fotorealistica del risultato finale e che generalmente, sviluppando in modo complesso gli algoritmi di radiosity o ray tracing o combinazioni di entrambi, implicano tempi e complessità di impostazione del calcolo molto maggiori. Tra i primi troviamo software molto diffusi come DIALux, Relux o Ecotect, quest'ultimo per il progetto della luce naturale, mentre alla categoria dei secondi appartiene ad esempio Radiance, un software open source in grado di simulare con elevata accuratezza il fenomeno fisico di interazione della luce e di fornire visualizzazioni fotorealistiche di elevata qualità.

Di seguito si forniscono alcune indicazioni in merito ai programmi più diffusi nell'ambito delle due categorie.

4. DIALux

DIALux è, ad oggi, uno dei software di progettazione degli impianti di illuminazione più diffusi in Europa. Il successo di questo strumento può essere attribuito a diversi fattori. Innanzitutto è un software gratuito, scaricabile da Internet, periodicamente aggiornato e implementato nelle sue funzionalità. Consente di realizzare progetti sia di illuminazione di interni che di esterni e di utilizzare nel calcolo gli apparecchi di illuminazione di numerosi produttori: vista la sua grande diffusione quasi tutti i produttori di apparecchi di illuminazione mettono a disposizione dei progettisti i modelli e le fotometrie dei propri prodotti nei formati compatibili con questo programma (ULD, Eulumdat o



A&RT

IESNA). Per quanto riguarda la modellazione dell'ambiente, il programma consente di costruire modelli tridimensionali e di caratterizzarli inserendo elementi architettonici, volumi editabili, elementi di arredo e numerosi altri oggetti disponibili nelle librerie dei materiali incluse nel programma (Figura 6). Di ciascuna superficie, dell'ambiente o degli oggetti inseriti, è quindi possibile specificare, seppure in maniera semplificata, le proprietà ottiche in termini di colore, specularità e fattore di riflessione della luce, oltre che inserire delle texture. In aggiunta alla facilità di impiego, ciò che rende questo programma così efficace per la progettazione degli impianti di illuminazione è la coerenza, sia nei dati di input che nei risultati ottenibili, con le indicazioni e i requisiti previsti dalle principali normative illuminotecniche europee. Il programma è infatti strutturato in modo da fornire come output, non solo le distribuzioni di illuminamento o di luminanza sulle superfici dell'ambiente o sulle superfici di calcolo introdotte dall'utente (Figura 7), ma anche i valori medi, minimi e massimi, le uniformità, gli indici di abbagliamento, le potenze specifiche impiegate, e, in seguito a recenti aggiornamenti, anche il LENI, ovvero l'indice di valutazione del fabbisogno di energia per l'illuminazione introdotto dalla norma europea CEN 15193 per la certificazione energetica degli edifici.

Per quanto riguarda gli algoritmi di calcolo DIALux utilizza il metodo del flusso totale e radiosity, e di recente è stata aggiunta la possibilità di post processing tramite POV (ray tracing) per migliorare il realismo delle immagini di rendering in presenza di materiali con comportamento speculare.

DIALux, pur essendo un programma sviluppato principalmente per il progetto degli impianti di illuminazione consente anche una stima dell'illuminazione naturale, seppur limitata al calcolo del fattore di luce diurna.

Programmi analoghi a DIALux, per caratteristiche e potenzialità, sono Relux e Oxytech Litestar.

Figura 3. Schema concettuale dell'algoritmo di radiosity.



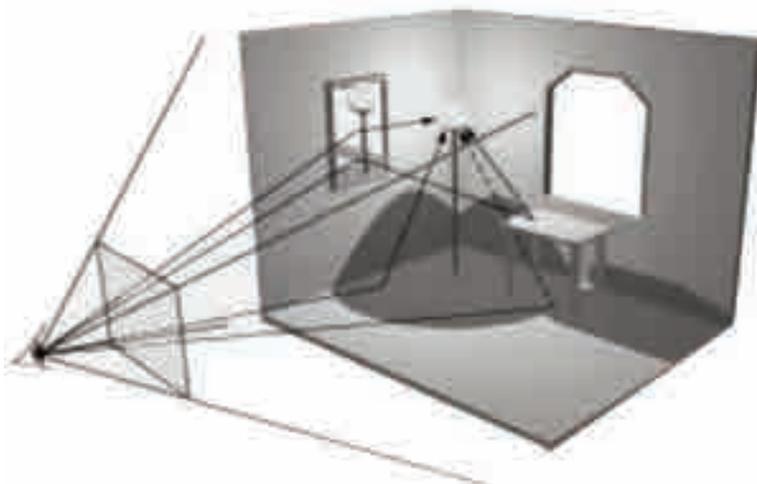
5. Ecotect

Ecotect è un programma finalizzato a valutare le prestazioni degli edifici con particolare attenzione agli aspetti energetici, nella logica della progettazione sostenibile. Il software è stato inizialmente sviluppato da Andrew Marsh nell'ambito della tesi di dottorato alla University of Western Australia e recentemente acquisito da Autodesk. Il programma consente di costruire geometrie 3D o di importare i modelli da altri programmi di modellazione tridimensionale e comprende diversi applicativi per la valutazione delle prestazioni termiche, acustiche e illuminotecniche degli edifici. Per quanto riguarda l'illuminazione l'analisi è prevalentemente incentrata sulla luce naturale, a partire dallo studio solare su base oraria, giornaliera o annuale fino al calcolo della disponibilità di luce naturale all'interno dell'edificio ed in particolare alla determinazione della distribuzione e del valor medio del fattore di luce diurna e dell'illuminamento in condizioni di cielo coperto (luce diffusa).

Ecotect rappresenta uno strumento efficace in particolare nelle prime fasi del progetto architettonico poiché è in grado di assistere il progettista con valutazioni relativamente rapide e di considerare, seppur separatamente, sia la componente diffusa che la componente diretta della radiazione solare (Figura 8). Inoltre il programma offre la possibilità di esportare il modello per sviluppare calcoli di illuminazione naturale più accurati mediante altri software (Radiance o Daysim) e di reimportare in seguito i risultati ottenuti per la visualizzazione in Ecotect. Questo modo di utilizzo richiede però una maggior competenza da parte dell'utente poiché in alcuni casi l'esportazione può comportare errori nella caratterizzazione delle prestazioni ottiche dei materiali.

Non sono in questo caso possibili rappresentazioni fotorealistiche dell'ambiente luminoso, se non attraverso l'esportazione del modello e il calcolo illuminotecnico in Radiance.

Figura 4. Schema concettuale dell'algoritmo di raytracing.



6. Radiance

A differenza dei programmi di calcolo descritti in precedenza Radiance (Larson et al. 1998) rientra nella categoria dei programmi di simulazione dell'ambiente luminoso. Si tratta cioè di un programma sia di calcolo che di rappresentazione fotorealistica, in grado di operare una simulazione accurata del fenomeno fisico di interazione luce-superfici (Figura 9). Da anni si configura come il software di riferimento per la valutazione e la visualizzazione dell'illuminazione sia naturale che artificiale.

Come già detto in precedenza Radiance è un codice di calcolo open source, sviluppato, a partire dalla seconda metà degli anni '80 al Lighting System Research Group del Lawrence Berkeley Laboratory e continuamente implementato da numerosi ricercatori del settore.

Nonostante l'efficacia e l'accuratezza di questo programma la sua diffusione nell'ambito della progettazione comune non è così ampia a causa della complessità di utilizzo e dei tempi di elaborazione che possono risultare piuttosto lunghi.

La complessità di utilizzo di Radiance consiste nell'essere un codice di calcolo sviluppato per sistemi Unix, costituito da numerosi programmi, diversamente combinabili in funzione del tipo di risultato atteso (visualizzazioni, animazioni, distribuzioni di illuminamento o luminanza ecc.). Non esiste un'interfaccia grafica che assista nello sviluppo delle diverse fasi del processo di simulazione e i comandi, dalla costruzione del modello, alla caratterizzazione delle superfici e delle sorgenti, devono essere scritti in linguaggio di programmazione. Oltre a questa difficoltà l'utente deve avere una conoscenza del programma e un'esperienza sufficiente per impostare correttamente i parametri di calcolo, da cui dipendono la correttezza

e l'accuratezza del risultato ottenuto. L'algoritmo utilizzato da Radiance è un Monte Carlo backwards ray tracing, un processo di calcolo ricorsivo che consente di determinare la radianza delle superfici tenendo conto sia della componente di luce che proviene direttamente dalle sorgenti, che di quella riflessa/trasmessa specularmente o riflessa/trasmessa in modo diffuso dalle superfici.

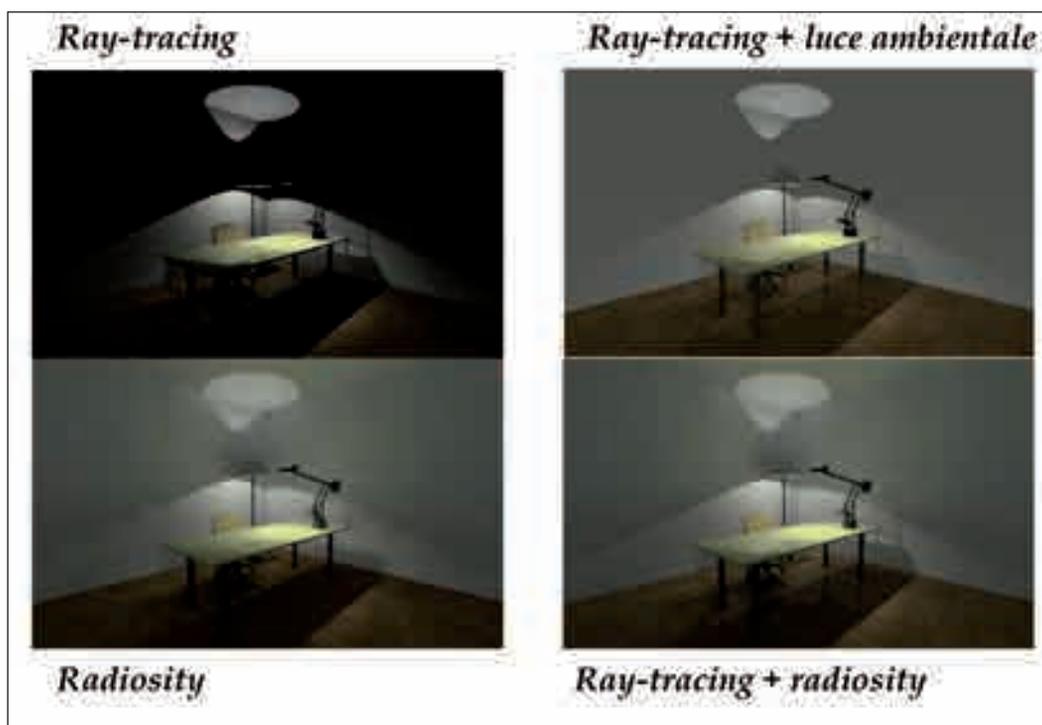
Oggi Radiance è prevalentemente usato nella ricerca illuminotecnica e nei grandi studi di progettazione, sia per la simulazione della luce naturale che artificiale.

7. Software per la progettazione della luce naturale: dalle valutazioni istantanee a quelle dinamiche

Un ultimo approfondimento in merito agli strumenti informatici in ambito illuminotecnico riguarda l'evoluzione dell'approccio al progetto della luce naturale.

Tradizionalmente il parametro di riferimento in questo ambito è il fattore di luce diurna, un parametro adimensionale che fornisce un'indicazione sulla percentuale di luce naturale presente in ambiente rispetto a quella che si ha all'esterno su un piano orizzontale illuminato dall'intera volta celeste in condizioni di cielo coperto. Nonostante la semplicità di calcolo, questo parametro risulta poco efficace nel valutare l'andamento dinamico dell'illuminazione naturale in ambiente, sia perché non considera le effettive condizioni climatiche del luogo di progetto sia perché, per definizione, esclude la presenza di radiazione solare diretta. Oggi, le crescenti esigenze di stima del fabbisogno energetico degli edifici, comportano la richiesta di strumenti e indici di valutazione più dettagliati anche per quanto concerne la luce naturale disponibile in ambiente durante l'anno. A tale proposito si sta diffondendo,

Figura 5. Esempi di applicazione degli algoritmi di radiosity e raytracing o di combinazione di diversi algoritmi.



A&RT

anche in ambito illuminotecnico, l'approccio ad una progettazione di tipo "climate-based", che valuta cioè le condizioni di illuminazione sulla base dei dati climatici del sito di progetto. Questo tipo di approccio permette di ottenere un'informazione più completa sull'andamento delle condizioni di illuminazione naturale nel tempo (normalmente si assume come intervallo di analisi l'anno), ma comporta, per contro, tempi di calcolo potenzialmente elevati e la produzione di una notevole quantità di dati, che, per essere interpretati, devono essere ulteriormente elaborati in indici sintetici.

Ad oggi il programma di calcolo più utilizzato per questo genere di analisi è Daysim, un software scaricabile gratuitamente da Internet, in grado di svolgere un calcolo accurato dell'illuminazione naturale su base annua (vengono utilizzati gli algoritmi di Radiance) e di determinare alcuni indici sintetici quali la Daylight Autonomy, gli Useful Daylight Illuminances, la dose di luce annua, ecc. (CIE 2008, Nabil et al. 2006, Reinhart et al. 2006, Rogers 2006). Il programma consente inoltre di calcolare il fabbisogno energetico per l'illuminazione

artificiale, tenendo conto dell'illuminamento richiesto, del profilo di utilizzo dell'ambiente e di diversi modelli di controllo sia dei sistemi di illuminazione artificiale sia di eventuali schermature solari.

Nuovi programmi sono inoltre in fase di sviluppo (Andersen et al. 2008, Kleindienst et al. 2008) anche al fine di fornire al progettista strumenti utilizzabili in diversi momenti del processo di progettazione: strumenti più semplici e rapidi nel calcolo per la fase di concept design, strumenti invece più accurati e che richiedono tempi di calcolo superiori per la fase di verifica del progetto.

Bibliografia e sitografia

M. Andersen, S. Kleindienst, L. Yi, J. Lee, M. Bodart, B. Cutler, B., *An intuitive daylighting performance analysis and optimization approach*, in «Building Research and Information», 36 (6), 2008, pp. 593-607.

Figura 6. Interfaccia DIALux nella fase di preparazione del modello.

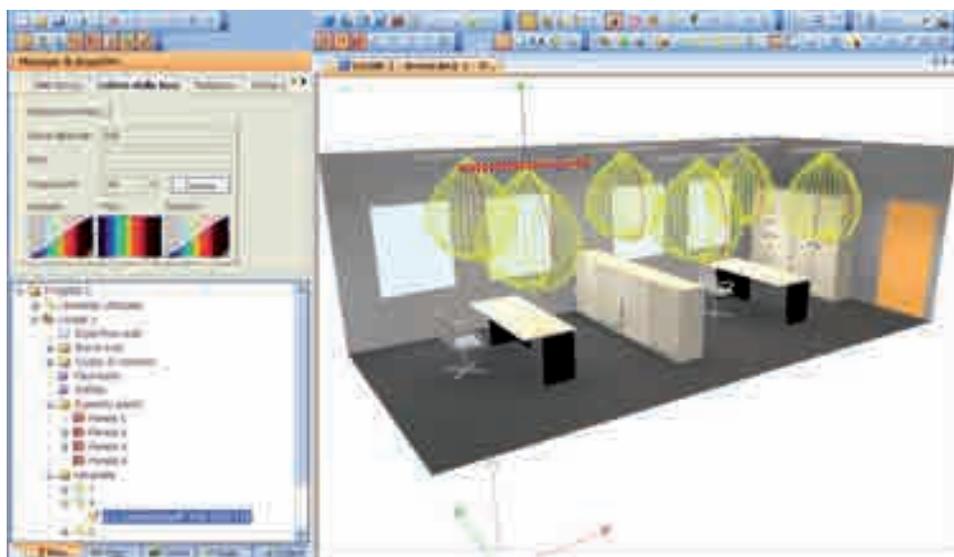
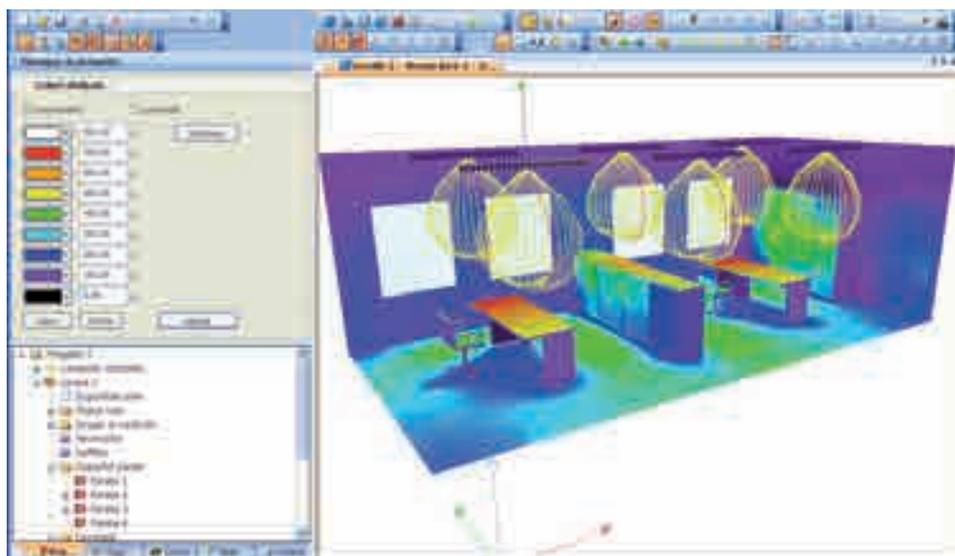


Figura 7. Interfaccia DIALux nella fase di visualizzazione in false color dei risultati di illuminamento sulle superfici.



F. Anselmo, *Gli strumenti per la simulazione*, in AA.VV., *Manuale di progettazione illuminotecnica* (a cura di M. Frascarolo), Mancosu Editore, Roma 2010

Commission International de l'Eclairage (CIE), *CIE Division 3: Reportership R3-26. Climate-based daylight analysis*, CIE, Vienna 2008.

M.F. Cohen, J.R. Wallace, *Radiosity and Realistic Image Synthesis*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco 1993

www.daysim.com

Dialux 4.9, disponibile su:

www.dial.de/CMS/Italian/Articles/DIALux/Download/Download_d_e_fr_it_es_cn.html

S. Kleindienst, M. Bodart, M. Andersen, *Graphical representation of climate-based daylight performance to support architectural design*, in «Leukos», 5 (1), 2008, pp. 39-61

G.W. Larson, R.A. Shakespeare, *Rendering with Radiance. The Art and Science of Lighting Visualization*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco 2008

J. Lilley, D. Muller, *How to communicate light. Presentation tech-*

niques used by experienced lighting designers, in «Professional Lighting Design», 66, May/June 2009

V.R.M. Lo Verso, *Metodi di calcolo e di simulazione per il progetto della luce naturale*, in AA.VV., *Manuale di progettazione illuminotecnica* (a cura di M. Frascarolo), Mancosu Editore, Roma 2010

A. Nabil, J. Mardaljevic, *Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors*, in «Energy and Buildings», 38 (7), 2006, pp. 905-913.

www.oxytech.it/default.asp?LN=IT

C.F. Reinhart, J. Mardaljevic, Z. Rogers, *Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design*, in «Leukos», 3 (1), 2006, pp. 1-25.

www.relux.biz

Z. Rogers, *Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool*, Architectural Energy Corporation, Boulder 2006; disponibile su:

www.archenergy.com/SPOT/download.html

Figura 8. Studio dell'illuminazione naturale con Ecotect. Dinamica delle ombre prodotte dalla radiazione solare diretta e distribuzione del fattore di luce diurna.

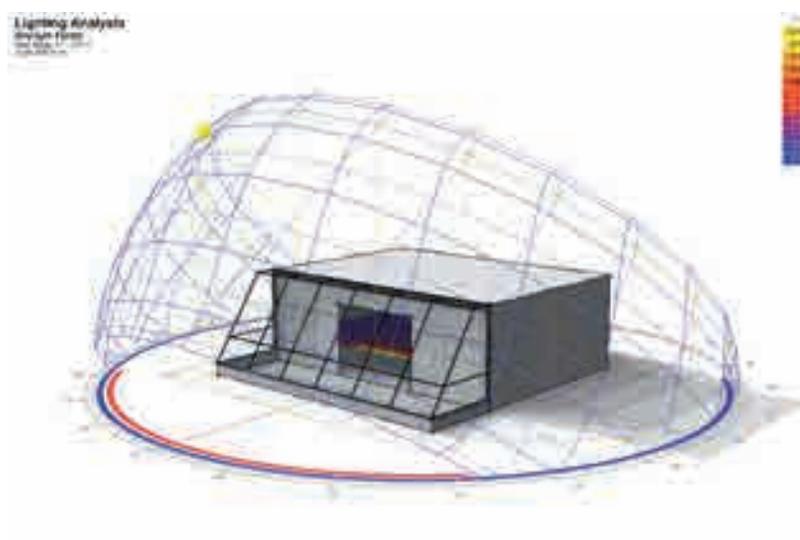


Figura 9. Simulazione dell'illuminazione naturale di un'aula scolastica mediante Radiance: rappresentazione fotorealistica e risultati quantitativi.



Limiti e prospettive della progettazione acustica assistita da computer

Limits and perspectives of computer-assisted acoustic design

ARIANNA ASTOLFI, ALESSIA GRIGINIS

Arianna Astolfi, architetto, professore associato di fisica tecnica, Politecnico di Torino
arianna.astolfi@polito.it

Alessia Griginis, architetto, dottore di ricerca
griginis@onleco.com

Negli ultimi anni si è molto parlato di acustica come parametro di grande rilevanza nella progettazione degli edifici e oggi tale argomento diviene ancora più preminente nell'ottica di rendere cogente la classificazione acustica delle singole unità immobiliari. Il comfort acustico, inteso come protezione rispetto alla propagazione del rumore attraverso le strutture edilizie e come trattamento degli ambienti interni per la riduzione della riverberazione, diviene dunque un obiettivo fondamentale da perseguire all'interno delle costruzioni. Ma per misurare in opera i requisiti che diano garanzia di un'elevata qualità acustica dell'ambiente costruito è necessario che questi aspetti siano presi in considerazione fin dalle prime fasi della progettazione di un edificio. Un progetto non può essere considerato completo se non comprende la descrizione delle prestazioni acustiche dell'edificio e degli elementi che lo e lo compongono, secondo gli indicatori previsti dalle specifiche norme e nel rispetto dei principi della sostenibilità ambientale. Nell'ambito del presente articolo l'attenzione viene concentrata sugli aspetti connessi all'acustica edilizia con l'obiettivo di mettere in evidenza gli strumenti legislativi e normativi di riferimento nonché i modelli di calcolo e i software a disposizione del progettista per il corretto dimensionamento del fonoisolamento. Verranno inoltre descritti i modelli e i software da applicare nella previsione della risposta acustica degli ambienti confinati.

In recent years there has been much talking about acoustics as a parameter of great importance in building design and today this argument becomes even more complex in view of making binding the acoustic classification of individual housing units.

The acoustic comfort, intended as protection against the propagation of sound through the building structures and as far as a treatment of the indoors to reduce reverberation, therefore becomes a key objective to be pursued inside buildings.

However to measure in place the requirements that guarantee a high acoustics quality of the built environment these aspects must be taken into consideration from the very first steps of a building designing.

A project can not be considered complete unless it includes a description of the acoustic performance of the building and of the elements composing it, according to the indicators set up by specific rules and the principles of environmental sustainability

As part of this article the attention is focused on aspects related to building acoustics, with the aim to highlight the legislative and regulatory reference and calculation models and the available software to the designer for the correct sizing for soundproofing .

1. I requisiti acustici passivi degli edifici

Il D.P.C.M. 5/12/97 [1] sui requisiti acustici passivi degli edifici prevede l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente, R'_{w} , quale indice di valutazione delle prestazioni fonoisolanti di pareti divisorie tra distinte unità immobiliari, l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$, per valutare le prestazioni fonoisolanti di facciata, e l'indice

di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico L'_{nw} , per valutare le prestazioni fonoisolanti ai rumori impattivi, indicando per tali parametri valori limite in relazione alle diverse destinazioni d'uso.

Il decreto considera inoltre i limiti di livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow, L_{ASmax} , per i servizi a funzionamento discontinuo, e di livello di pressione sonora equivalente ponderata A, L_{Aeq} , per i servizi a funzionamento continuo.

Al fine di compiere valutazioni corrette in sede progettuale è dunque necessario disporre di metodi di previsione accurati e di facile utilizzo.

Nell'ambito dell'acustica edilizia, il tema della progettazione del fonoisolamento e della rumorosità degli impianti risulta ancora carente di strumenti affidabili da utilizzare nelle diverse fasi realizzative dell'opera. In particolare tra gli aspetti maggiormente critici si possono indicare:

- la definizione di algoritmi di calcolo applicabili senza eccessiva approssimazione alla maggioranza dei casi studio;
- la diponibilità di un repertorio di dati acustici relativi a materiali e componenti sufficientemente attendibile e rappresentativo;
- la disponibilità di linee guida alla selezione dei materiali e alla corretta posa in opera [2].

Attualmente la normativa tecnica nazionale prevede due serie linee guida. La prima, esplicitata nella norma UNI/TR 11175 [3], è dedicata all'applicazione nel contesto costruttivo italiano delle norme Europee della serie EN 12354 [4] sul fonoisolamento; la seconda, si riferisce alla norma UNI 11296 [5], ed è specifica per i serramenti, per la loro selezione, posa e collaudo.

Le norme europee della serie EN 12354 parti 1, 2 e 3, descrivono due modelli, uno dettagliato e uno semplificato, rispettivamente per il calcolo del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti, dell'isolamento acustico di facciata e del livello di pressione sonora di calpestio. Il modello dettagliato prevede l'esecuzione dei calcoli per bande di ottava o per bande di un terzo d'ottava e la determinazione degli indici di valutazione in accordo con le norme UNI EN ISO 717-1 [6], per gli indici acustici connessi all'isolamento acustico per via aerea, e UNI EN ISO 717-2 [7], per quelli connessi al rumore da calpestio. Il modello semplificato, recepito dalla norma UNI/TR 11175 [3], fa invece riferimento ai soli indici di valutazione del potere fonoisolante apparente delle varie strutture coinvolte.

2. Indice di valutazione del Potere fonoisolante apparente

Il potere fonoisolante apparente R' esprime le prestazioni fonoisolanti di una partizione interna in condizioni reali di messa in opera. Si distingue dal potere fonoisolante misurato in laboratorio, indicato con la lettera R senza apice, perché considera, oltre alla trasmissione sonora diretta attraverso la

sola partizione, dovuta al suono incidente sulla partizione e direttamente irradiato dalla partizione nell'ambiente ricevente, anche la trasmissione diretta attraverso percorsi di trasmissione aerea sulla partizione stessa, come fessure o dispositivi per il passaggio dell'aria, ed i percorsi di trasmissione di tipo indiretto attraverso le strutture laterali.

Per trasmissione sonora indiretta si intende la trasmissione attraverso percorsi diversi da quello diretto, che possono essere strutturali, se l'energia sonora segue percorsi per via solida attraverso gli elementi costruttivi (pareti, pavimenti, soffitti), o aerei, se la trasmissione avviene attraverso percorsi di trasmissione aerea come sistemi di ventilazione, controsoffitti sospesi ecc.

Si segnalano alcuni problemi incontrati nell'applicazione del metodo di calcolo [8] [9] [10]:

- scarsa disponibilità di dati per effettuare la conversione fra dati di laboratorio in dati in opera;
- validità e corrispondenza di alcuni dati di input delle strutture coinvolte, quali il potere fonoisolante, la massa superficiale, la caratterizzazione dei giunti;
- scarsa disponibilità di dati di laboratorio per la determinazione della trasmissione indiretta per via aerea;
- imprecisioni sulla caratterizzazione degli elementi leggeri;
- il modello non considera la presenza di discontinuità (fessure, attraversamenti impiantistici, travi e pilastri) e ponti acustici;
- il modello presenta delle carenze sulla trattazione dell'influenza di alcuni strati addizionali dovuta alla mancanza di adeguati metodi di valutazione in laboratorio.

Per applicare il metodo di calcolo è necessario convertire i valori dei dati acustici da valori in laboratorio a valori in opera (o in situ) per tenere conto delle reali condizioni di vincolo in opera. Tale conversione si effettua conoscendo i

Figura 1. Misura degli indici di riduzione delle vibrazioni che coinvolgono strutture leggere. Tratto da [18].



A&RT

Figura 2. Raggi sonori in un modello tridimensionale a "tenuta d'acqua". Simulazione al calcolatore attraverso l'impiego del software Odeon.

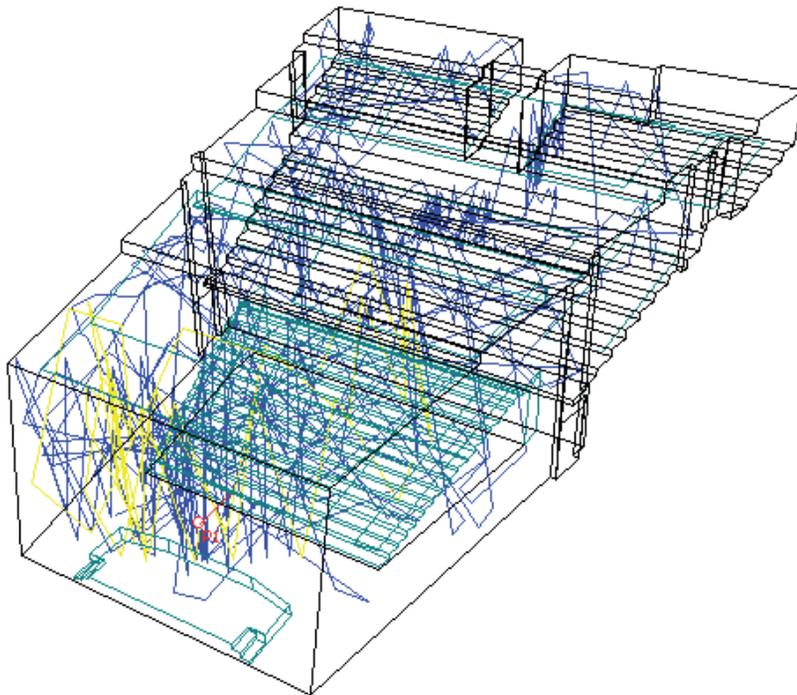
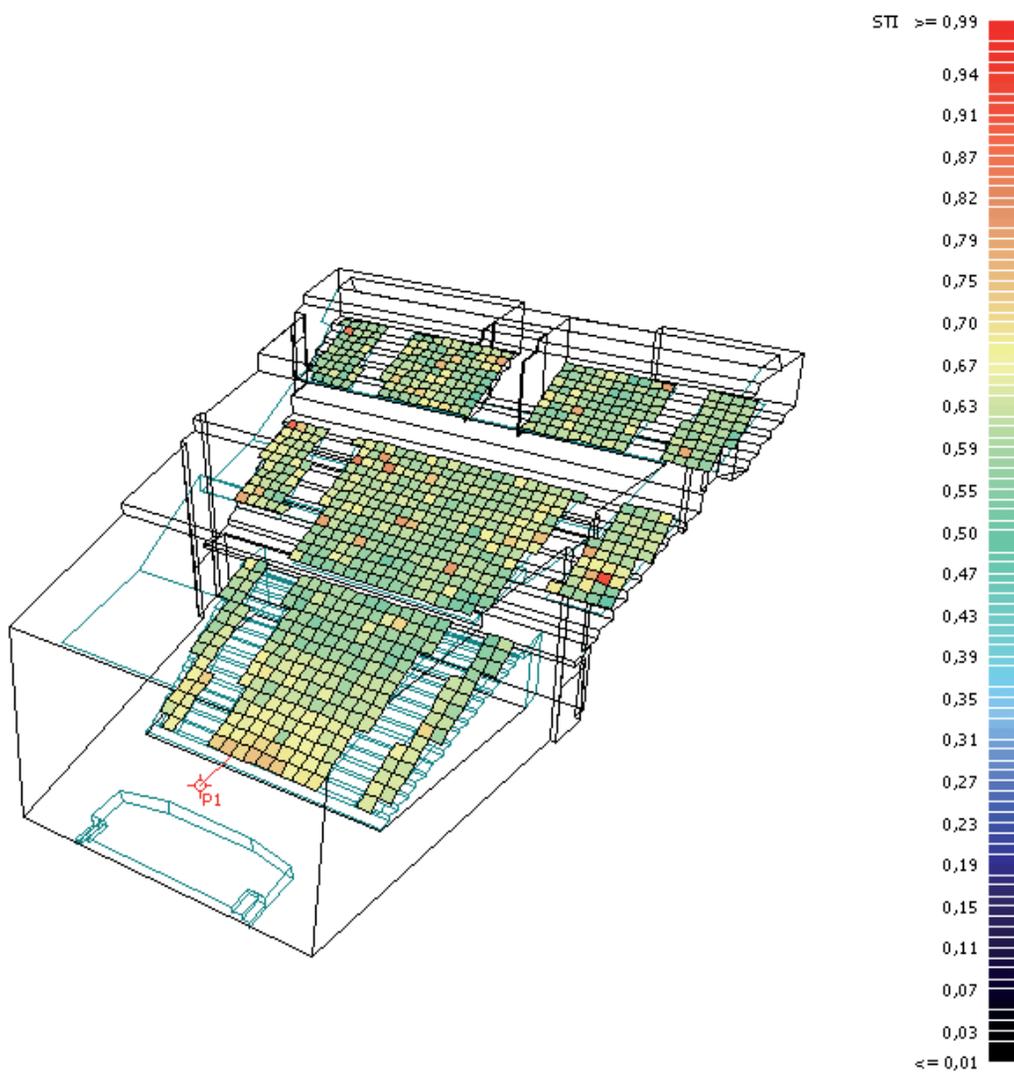


Figura 3. Esempio di mappa colorimetrica per la valutazione della distribuzione dei parametri di qualità acustica (ie: indice di intelligibilità STI) all'interno della sala, ottenibile dalla simulazione al calcolatore attraverso l'impiego del software Odeon.



tempi di riverberazione strutturale degli elementi misurati in laboratorio e in opera. I tempi di riverberazione strutturale si dovrebbero ottenere da misurazioni; in mancanza, possono essere approssimativamente stimati mediante calcolo. Il calcolo, come presentato nell'appendice C della Norma [11], richiede la conoscenza del fattore di smorzamento interno del materiale, del fattore di radiazione per onde flessionali libere, della frequenza critica della struttura e degli indici di riduzione delle vibrazioni tra la struttura in esame e tutte le strutture ad essa "laterali", grandezze tipicamente note con una non trascurabile incertezza.

Riguardo ai giunti tra elementi laterali e parete di separazione, la loro corretta caratterizzazione [12] in termini di indice di riduzione delle vibrazioni, K_{ij} , è importante per quantificare la trasmissione sonora laterale. Una attenzione particolare deve essere posta nel caso di giunti tra tramezzi leggeri a doppio strato e tra questi ed elementi omogenei. È necessario individuare l'esatto percorso dell'energia sonora che può essere relativo ad un solo strato del tramezzo ovvero all'intero tramezzo, se si considera coinvolto tutto l'elemento, essendo costituito da strati fra loro fortemente connessi [13]. Un analogo problema si presenta in presenza di strutture multistrato di tipo pesante, come le murature a cassa vuota costituite da due strati completamente sconnessi [10].

Bisogna inoltre considerare che il metodo contempla un limitato numero di tipologie costruttive di pareti e giunti, e che quindi sussistono condizioni nelle quali le prescrizioni riportate sono applicabili con difficoltà.

Riguardo alle pareti leggera a doppio strato, è nota la minore attendibilità del metodo nel caso di elementi non omogenei né monolitici, a causa della non ampia sperimentazione su tale tipologia costruttiva ed anche da considerazioni teoriche sul metodo di calcolo adottato [10].

Applicando il metodo di calcolo nel caso di partizioni a doppio strato di gesso rivestito, se i coefficienti di trasmissione sonora utilizzati nei calcoli contengono sia la componente di trasmissione risonante che quella non risonante, si sottostima il potere fonoisolante relativo alla trasmissione sonora di natura strutturale lungo i percorsi laterali [13]. La trasmissione sonora è prevalentemente di tipo risonante per frequenze superiori alla frequenza critica, e prevalentemente di tipo non risonante al di sotto della frequenza critica. Nei percorsi di trasmissione sonora laterale di natura strutturale, teoricamente, è presente solo la componente di tipo risonante, ed è per questa componente che valgono le relazioni di calcolo riportate nei modelli. Poiché la misura dei coefficienti di trasmissione sonora secondo le norme tecniche di riferimento non prevede distinzioni sui due tipi di trasmissione [14], l'assunzione di tali coefficienti porta, per frequenze inferiori alla frequenza critica, ad una sovrastima della trasmissione sonora, e quindi ad una sottostima del potere fonoisolante.

Da questi presupposti si può affermare che il metodo risulta maggiormente attendibile per quegli elementi costruttivi che, di

tipo omogeneo e monolitico, sono caratterizzati da una frequenza critica collocata nel campo delle basse frequenze, al di fuori delle frequenze di interesse pratico nelle valutazioni di fonoisolamento.

Alle precedenti considerazioni si unisce l'incertezza relativa alla reale messa in opera dei componenti, che si può riscontrare soprattutto nel caso di montaggio di elementi costruttivi leggeri prefabbricati, data la variabilità delle condizioni di posa in opera di tali tipi di partizione.

In conclusione, considerandone l'applicazione in un contesto costruttivo come quello italiano, caratterizzato in prevalenza da strutture omogenee tradizionali, il metodo descritto si rivela uno dei pochi accessibili per eseguire stime tecnicamente coerenti della riduzione del potere fonoisolante dal laboratorio all'installazione in opera, e il suo utilizzo sarà certamente utile per soddisfare l'esigenza di valutazioni in sede progettuale delle prestazioni fonoisolanti di partizioni, introdotte dal D.P.C.M. 5/12/1997.

3. Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione

La norma UNI EN 12354-3 [15] descrive un modello di calcolo per valutare l'isolamento acustico di facciata basandosi su dati di trasmissione diretta e indiretta (laterale), attraverso gli elementi di edificio interessati. In particolare l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT}$, dipende dal potere fonoisolante della facciata vista dall'interno, dall'influenza della forma esterna della facciata, come la presenza di balconi, e dalla dimensione dell'ambiente.

Tra gli aspetti critici incontrati nell'applicazione del modello di calcolo si possono citare:

- la scarsa disponibilità di dati sulla valutazione delle prestazioni fonoisolanti di piccoli elementi di edificio e corrispondenza con le reali prestazioni in campo [16];
- la scarsa disponibilità di dati sull'influenza dei telai, dei giunti e delle tenute delle intercapedini dei serramenti vetriati;
- valutazioni di strutture che richiedono allestimenti particolari, come ad esempio i tetti a falda [17];
- l'attenuazione dovuta alla forma della facciata richiede un metodo standardizzato di misura e ulteriore ricerca [18]; è necessario che sia considerata la direzione di provenienza della sorgente sonora (ad es: rumore da aeromobile in volo [19]).

4. Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico

La Norma UNI EN 12354-2 [20] riporta i modelli di calcolo per valutare il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, L'_n , fra ambienti sovrapposti e fra ambienti contigui, basandosi su dati di trasmissione diretta e laterale attraverso gli elementi di edificio interessati.

Tra gli aspetti critici incontrati nell'applicazione del modello di

A&RT

calcolo si possono citare:

- scarsa disponibilità di dati per effettuare la conversione fra dati di laboratorio in dati in opera;
- l'incertezza del metodo di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio a partire dalla rigidità dinamica dei materiali di sottofondo [21];
- la caratterizzazione acustica e l'influenza dei massetti alleggeriti di riempimento degli impianti;
- scostamento delle prestazioni ottenute a calcolo da quelle in opera per la non corretta caratterizzazione dei solai nudi (al grezzo), in particolare di quelli in laterocemento, caratteristici della tipologia costruttiva italiana [22][23];
- non sono considerati i massetti continui che trovano larga applicazione nelle destinazioni ad uso collettivo [24];
- non è tenuta in conto la finitura del pavimento (in ceramica, marmo, legno, ecc.) [25];
- carenza nella modellazione di solai leggeri.

5. Il rumore degli impianti

Il tema della previsione del rumore degli impianti è sicuramente il più complesso e fino ad ora poco trattato. La norma di riferimento è la UNI EN 12354-5 [26]. L'applicazione della norma è legata alla molteplicità delle tipologie impiantistiche e alla scarsità di dati acustici in ingresso.

La norma considera gli impianti sanitari, quelli di ventilazione, riscaldamento e raffrescamento, gli ascensori, le pompe ecc. e altri impianti di tipo ausiliario. La previsione del livello di rumore prodotto è basata principalmente su dati misurati che caratterizzano sia la sorgente che l'edificio.

La propagazione del rumore degli impianti avviene anche, e in maniera in alcuni casi preponderante, per via solida e, come tale, può propagarsi anche lontano dalla sorgente, causando un disturbo in molti ambienti dell'edificio.

Nel quantificare il contributo della propagazione per via solida è necessario conoscere il livello di potenza sonora per via strutturale immesso nella struttura di appoggio e i valori di mobilità meccanica delle strutture su cui si installeranno gli impianti [27]. La prima grandezza deve essere fornita dal produttore del generatore di rumore, sulla base di misure di laboratorio attraverso il *reception plate*, struttura in cemento armato di riferimento, appoggiata in modo opportuno alla base, che costituisce un vero e proprio laboratorio per la determinazione di grandezze meccaniche e strutturali di sorgenti di vibrazioni. Il metodo del *reception plate* è basato sul principio di uguaglianza tra la potenza strutturale della sorgente in vibrazione e la potenza strutturale presente nella piastra cui la sorgente è connessa, in condizioni stazionarie.

Le misure di mobilità meccanica delle strutture di appoggio in situ dovranno essere effettuate in fase di cantiere prima della posa degli impianti. Essa prevede misure locali di livelli di velocità di vibrazione e di livelli di forza di eccitazione. Questa misura consentirà di individuare le aree più o meno critiche di installazione e a fornire preventivamente indicazioni riguardo a possibili soluzioni di isolamento.

6. L'incertezza

Il livello di accuratezza delle previsioni dei modelli dipende da molti fattori: l'accuratezza dei dati d'ingresso, l'adattabilità della situazione rispetto al modello, il tipo di elementi e giunti interessati, la geometria della situazione e la qualità dell'esecuzione. Come conseguenza, non è possibile specificare, in generale e per tutte le situazioni e applicazioni, il livello di accuratezza delle previsioni.

Si può tuttavia indicare che per quanto riguarda l'isolamento fra ambienti interni il modello dettagliato, nei casi di elementi di edificio omogenei, per esempio murature in mattoni, pareti e pavimenti di calcestruzzo, blocchi di gesso etc., la previsione è corretta con uno scarto tipo di 2 dB. Si suppone che l'errore sia dovuto in larga misura al fatto di trascurare la correzione dei valori in opera rispetto ai valori di laboratorio. Gli esempi di calcolo con il modello semplificato evidenziano errori variabili tra ± 4 dB.

La valutazione dell'isolamento acustico di facciata con il metodo dettagliato è mediamente corretta e l'indice di valutazione evidenzia uno scostamento tipo di 1,5 dB. Si suppone che l'errore sia dovuto in larga misura alla mancanza di dati sulle trasmissioni sonore attraverso il telaio, la tenuta dei giunti e delle intercapedini. Nel caso di livello di pressione sonora di calpestio i modelli sono basati sull'esperienza di previsione per edifici ad uso residenziale con elementi di edificio di tipo omogeneo. Come livello di accuratezza si può indicare che i calcoli con il modello dettagliato nel caso di trasmissione verticale portano a scarti tipo variabili fra 2 dB, mentre con il modello semplificato si evidenziano errori variabili tra ± 4 dB.

Le principali attività di ricerca intorno alla serie di norme EN 12354 parti 1 e 2 riguardano attualmente la corretta modellazione delle pareti leggere, caratterizzate da uno smorzamento che è maggiormente dipendente dalla struttura stessa che non dai vincoli con le altre strutture [18]; particolare attenzione è rivolta alla misura degli indici di riduzione delle vibrazioni che coinvolgono strutture leggere (Figura 1). Sono previste inoltre delle estensioni e aggiustamenti della norma EN 12354-5 relativi alla combinazione degli impianti con le strutture leggere.

7. Sviluppi futuri

Nel 2010 è stata pubblicata la nuova norma UNI 11367 sulla classificazione acustica delle unità immobiliari. Si tratta di uno strumento che ha l'obiettivo di valutare la qualità degli edifici sotto il profilo della loro protezione dal rumore. Le classi acustiche consentono l'introduzione di un sistema di graduazione della qualità acustica della costruzione. In particolare la norma definisce quattro classi di qualità acustica, dalla I alla IV, dove la I comprende i requisiti più performanti, la IV i requisiti più scadenti e la III comprende in linea di massima i limiti attualmente previsti dal D.P.C.M. 5/12/97.

I contenuti essenziali di tale norma possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- la classe acustica che contraddistingue ogni singola unità immobiliare è da considerarsi una "proprietà intrinseca

dell'edificio" ed è pertanto indipendente dal contesto in cui questo si trovi. Ciò significa che i requisiti acustici che devono essere rispettati sono uguali per tutti gli edifici indipendentemente dal clima acustico dell'area in cui vengono realizzati;

- la classificazione acustica non si riferisce all'edificio, ma alle singole unità immobiliari sulla base dei "valori medi" delle prestazioni acustiche dei suoi componenti misurate in opera;
- nella determinazione della prestazione acustica finale di ogni singolo componente edilizio tutti i risultati delle misure devono essere corretti (ridotti, per gli isolamenti, ed incrementati, per i livelli sonori) attraverso valori che rappresentano l'incertezza di misura e, nel caso di edifici con caratteristiche tipologiche seriali, l'incertezza di campionamento. Ciò è funzionale a tenere in considerazione in maniera cautelativa dell'incertezza delle misurazioni di acustica edilizia.

8. Acustica degli ambienti chiusi

8.1. Ambienti residenziali, uffici, aule scolastiche

La norma UNI EN 12354-6 [28] descrive un modello di calcolo per valutare l'area totale di assorbimento equivalente e il tempo di riverberazione negli ambienti chiusi. Il modello si basa sull'esperienza di previsione per ambienti residenziali, uffici, aule scolastiche, ma anche i corridoi e i vani scale. Non è destinata ad ambienti di grandi dimensioni o di forma irregolare, come le sale da concerto, i teatri e le fabbriche.

Per il calcolo si assume che il campo sonoro sia diffuso, questo implica che le dimensioni dell'ambiente siano simili e che l'assorbimento sia distribuito nello spazio. Per altre situazioni quali ambienti di forma irregolare e con distribuzione irregolare dell'assorbimento, l'appendice D offre una guida ai modelli di calcolo perfezionati.

Nel caso in cui si abbiano ambienti parallelepipedi con distribuzione di assorbimento irregolare, come nel caso degli ambienti ufficio, il campo sonoro viene diviso in parti radenti alle diverse superfici e in una parte non radente. Per ambienti di forma molto irregolare o ambienti stretti il tempo di riverberazione non è costante nell'intero ambiente, tuttavia in tali situazioni è maggiormente importante conoscere le differenze fra i livelli di pressione nelle diverse parti dell'ambiente. Questi livelli si possono stimare considerando la suddivisione dell'ambiente totale in sottoambienti regolari.

8.2. Modelli empirici

Alcuni modelli empirici disponibili in rete o commerciali sono stati sviluppati per studiare l'acustica di aule scolastiche e uffici open space. A titolo di esempio Valtteri Hongisto, Petra Virjonen e Jukka Keränen del Finnish Institute of Occupational Health hanno sviluppato un modello di calcolo

per la progettazione degli uffici open space al fine di controllare e ridurre il disturbo causato dal parlato.

Il modello, scaricabile gratuitamente da internet (<http://www.acoustics.hut.fi/software/fioh-officemodel>), è stato creato sulla base dei dati ottenuti in seguito ad analisi acustiche e fisiche condotte in 15 uffici open space con caratteristiche estremamente diverse tra loro e tiene in considerazione le dimensioni dell'ambiente, le caratteristiche di muri, soffitto e pavimentazione, proprietà e dimensioni dei pannelli divisorii, rumore di fondo e sforzo vocale del parlatore. Il programma consente di calcolare l'indice di intelligibilità *Speech Transmission Index* (STI) [29] oltre al "raggio di distrazione" e il decadimento spaziale del livello del parlato al raddoppio della distanza.

Il raggio di distrazione è definito nella norma UNI EN ISO 14257 [30] come l'attenuazione del livello di pressione sonora al raddoppio della distanza dalla sorgente. Il decadimento spaziale del livello di pressione sonora del parlato ponderato A, è la distanza dal parlatore alla quale lo STI si riduce a valori inferiori a 0,50. Tale valore limite è basato sullo studio di Hongisto et al. [31], in accordo con il quale la prestazione migliora quando lo STI è inferiore a 0,50.

8.3. I grandi ambienti

L'assunzione del campo sonoro diffuso, pur essendo una base per lo studio del comportamento acustico degli ambienti, non tiene conto di molti fenomeni che spesso possono assumere rilevanza non trascurabile:

- differente comportamento tra zone diverse di una sala;
- presenza di fenomeni di eco e di *flutter-eco*;
- concentrazioni sonore;
- diffusione sonora;
- prime riflessioni;
- zone d'ombra;
- fenomeni di diffrazione e interferenza.

Le concentrazioni sonore, le prime riflessioni, le zone d'ombra, la presenza di eco possono essere indagate adottando le semplificazioni dell'acustica geometrica. Questa prevede dei raggi sonori perpendicolari ai fronti d'onda che si riflettono specularmente sulle superfici dell'ambiente. Oltre la parete si realizza una sorgente immagine dalla quale si propaga un raggio riflesso con minore contributo energetico. Così facendo il campo sonoro non sarà più uniforme in tutto l'ambiente. Il volume, la forma e i materiali presenti all'interno dell'ambiente influiscono sulla distribuzione del suono. Il tracciamento dei raggi sonori che si riflettono sulle superfici restituisce come risultato la risposta all'impulso della sala che, sotto forma di ecogramma energetico, riporta i tempi di arrivo nel punto di ricezione delle diverse componenti sonore, quella diretta e quella riflessa, dando indicazione delle rispettive ampiezze.

L'approssimazione dell'acustica geometrica è applicabile

A&RT

quando:

- le pareti sono per lo più lisce e di dimensioni nettamente superiori rispetto ai valori delle più grandi lunghezze d'onda in gioco, così si presuppone che le riflessioni avvengano specularmente senza alcun effetto di diffrazione ai bordi e di diffusione dovuta alle asperità;
- le sorgenti sono considerate puntiformi.

Restano comunque aperti ancora i problemi legati alla diffrazione, alla diffusione e all'interferenza.

Un software commerciale per lo studio dell'acustica nei grandi ambienti è ODEON 9.0. [32]. Si tratta di un modello di calcolo che, sulla base di modelli CAD tridimensionali, ricostruisce il campo sonoro, restituendo parametri oggettivi di valutazione acustica indicati dalla norma UNI EN ISO 3382-1 [33]. Il modello tridimensionale, realizzato mediante 3dfaces (superfici tridimensionali), riproduce in modo semplificato le caratteristiche geometriche della sala ed è a "tenuta d'acqua", cioè concepito in modo da non lasciar uscire raggi sonori dall'involucro. La sala è considerata come composta da superfici piane che hanno la proprietà di assorbire energia in accordo con un coefficiente di assorbimento variabile in frequenza, considerato indipendente dall'angolo di incidenza del raggio sonoro sulla superficie stessa. L'algoritmo di calcolo utilizzato dal programma è basato su un metodo ibrido "ray tracing/sorgenti immagine"; tale algoritmo prevede che, dopo aver fissato una sorgente all'interno del modello, la simulazione del campo sonoro avvenga inviando nella sala un elevato numero di raggi, che vengono riflessi tutte le volte che intercettano una superficie (ray tracing). I raggi sono lanciati in tutte le direzioni in modo uniforme (Figura 2) e, dapprima, sono utilizzati per scoprire le sorgenti immagine dei primi ordini di riflessione, che inviano nei punti riceventi l'energia sonora riflessa di maggiore contenuto energetico. Le sorgenti immagine sono sorgenti sonore virtuali, simmetriche rispetto alla sorgente reale e opposte rispetto alla superficie riflettente considerata. In questo modo le onde riflesse si propagano come se fossero state prodotte dalla sorgente virtuale e la direzione di propagazione del suono riflesso forma con la superficie riflettente lo stesso angolo del suono incidente. Dopo le prime riflessioni ogni volta che un raggio colpisce una superficie viene generata una sorgente secondaria di tipo diffondente, che da origine alla coda sonora. I risultati delle simulazioni sono visualizzabili attraverso mappe che permettono di valutare la distribuzione degli indici di qualità acustica indagati all'interno della sala (Figura 3).

Conclusioni

Per quanto riguarda la valutazione previsionale dei requisiti acustici passivi le varie norme EN 12354 e i modelli di calcolo a disposizione, devono essere considerati una base che consente di disporre di un linguaggio comune europeo, facilitando così lo scambio di informazioni sugli obiettivi e sulle reali prestazioni dei

manufatti. In generale però si può sostenere che, al fine di applicare i software acustici nel modo più corretto, sono necessarie delle linee guida, maggiore disponibilità di dati di input sugli elementi relativi ai metodi costruttivi nazionali o locali, e le stime delle incertezze di calcolo. L'esperienza e il continuo aggiornamento portano ad una maggiore coincidenza fra i dati calcolati e quelli misurati a collaudo.

Per quanto riguarda la previsione della risposta acustica all'interno di ambienti confinati i CAD acustici consentono la realizzazione di modelli tridimensionali che permettono di prendere in considerazione in modo accurato le caratteristiche dell'ambiente quali la forma, le dimensioni, e soprattutto la reale distribuzione delle superfici assorbenti e riflettenti, consentendo una valutazione più sensibile delle proprietà acustiche che possono influenzare il campo sonoro. Lo studio dei campi acustici attraverso l'applicazione di semplici leggi geometriche può però essere applicato solo nel caso di grandi ambienti in cui le sorgenti sonore normalmente sono poche e localizzate e la lunghezza d'onda del suono ha dimensioni trascurabili rispetto agli elementi costituenti l'ambiente stesso. Per gli ambienti che non abbiano tali caratteristiche è necessario ricorrere all'impiego di modelli di calcolo più complessi che siano in grado di tenere in considerazione fenomeni fisici complessi legati alla natura ondulatoria del suono. Inoltre per ottenere risultati affidabili dalle simulazioni acustiche è necessario conoscere le basi teoriche dei fenomeni che si intendono studiare, avere la padronanza dei software che si utilizzano oltretutto disporre di dati di input corretti e realistici.

Emerge dunque che un progetto per essere completo deve essere acusticamente compatibile, ma la progettazione acustica richiede importanti investimenti in termini di esperienze, di approfondimenti e di ricerca. Pertanto nel rispetto dei principi di comfort e di sostenibilità ambientale occorre orientarsi verso una progettazione integrata che contempli il coinvolgimento di professionalità specializzate in grado di ottimizzare contemporaneamente tutti quegli aspetti fondamentali per il conseguimento degli obiettivi di qualità.

Bibliografia

- [1] D.P.C.M. 5/12/1997, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*
- [2] Scamoni F, Martorana C., *Gli strumenti a disposizione del progettista e l'evoluzione delle norme sulla previsione delle prestazioni acustiche degli edifici*, in *Atti della 2° Convention Nazionale del Gruppo di Acustica Edilizia, L'evoluzione e l'armonizzazione delle norme italiane ed europee sulla protezione acustica degli edifici*, Firenze, 13 dicembre 2010
- [3] Norma Italiana UNI/TR 11175:2005. *Acustica edilizia – Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*

- [4] Norme Italiane UNI EN 12354-1, 2, 3. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti*
- [5] Norma italiana UNI 11296:2009. *Linee guida per la progettazione, la selezione, l'installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto*
- [6] UNI EN ISO 717-1:2007. *Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Isolamento acustico per via aerea*
- [7] UNI EN ISO 717-2:2007. *Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Isolamento del rumore di calpestio*
- [8] E. Gerretsen, *Calculation of the sound transmission between dwellings by partition and flanking structures*, in «Applied Acoustics», 12, 1979, pp. 413-433
- [9] E. Gerretsen, *Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings*, in «Applied Acoustics», 19, 1986, pp. 245-264
- [10] M. Garai, S. Secchi, *Metodi di previsione delle prestazioni acustiche degli edifici: isolamento all'interno degli edifici*, in *Atti del Convegno Nazionale Edilizia e Ambiente*, Trento, 1998
- [11] UNI EN 12354-1:2002. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti*
- [12] A. Schiavi, A. Astolfi, *The Prediction of the Vibration Reduction Index K_j for Brick and Concrete Rigid Junctions*, in «Applied Acoustics», 71 (6), 2010, pp. 523-530
- [13] T.R.T. Nightingale, *Application of the CEN draft building acoustics prediction model to a lightweight double leaf construction*, in «Applied Acoustics», 46, 1995, pp. 265-284
- [14] UNI EN ISO 140-3:1997. *Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio*
- [15] UNI EN 12354-3:2003. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea*
- [16] F. Asdrubali, G. Baldinelli, F. D'Alessandro, S. Schiavoni, *Ottimizzazione acustica di cassonetti per l'alloggiamento di avvolgibili mediante analisi intensimetriche*, in *Atti del 36° Congresso ALA*, Torino, 2009
- [17] L. Parati, A. Carretini, C. Scrosati, F. Scamoni, *Wooden roof: evaluation of acoustic performance per-formed in laboratory, on an external test-cell, and on real buildings*, ICA 2010, Sidney
- [18] E. Gerretsen, *Stato dell'arte e future sviluppi nella serie di norme europee EN 12354*, in *Atti della Convention Nazionale del Gruppo di Acustica Edilizia, L'acustica edilizia in Italia: esperienze e prospettive*, Ferrara 11-12 marzo 2009
- [19] J.S. Bradley, *Sound Insulating against aircraft noise*, NRCC-46396, National Research council Canada, 1998
- [20] UNI EN 12354-2:2002. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico al calpestio tra ambienti*
- [21] UNI EN 29052-1:1993. *Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali*
- [22] A. Astolfi, A. Schiavi, A. Griginis, S. Geroso, G. Piccablotto, *Verifica del livello di pressione sonora di calpestio dal laboratorio all'opera: indagini sperimentali e modelli di calcolo*, in «Rivista Italiana di Acustica», 30 (3-4), luglio-dicembre 2006, pp. 95-114
- [23] G. Semprini, A. Di Bella, A. Schiavi, A. Astolfi, L. Barbaresi, L. Luison, C.M. Pontarollo, P. Tarizzo, *Acoustical behavior of bare floor in hollow brick and concrete (Italian building technology)*, in *Proceedings of Internoise 2010*, Lisbon, 13-16 June 2010
- [24] G. Zambon, F. Angelini, *Applicazioni della UNI 12354-2 "Isolamento acustico al calpestio tra ambienti" a casi reali in strutture ad uso collettivo*, in *Atti della Convention Nazionale GAE*, Ferrara, 2009
- [25] A. Schiavi, A. Pavoni Belli, F. Russo, M. Corallo, *Rigidità dinamica: alcune riflessioni per la revisione della norma UNI EN ISO 29052-1*, in *Atti del 37° Congresso ALA*, Siracusa, 26-28 maggio 2010
- [26] UNI EN 12354-5:2009. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici*
- [27] A. Schiavi, P. Tarizzo, *Il problema del rumore degli impianti negli edifici. Parte 1. Come reperire i dati richiesti dal modello EN 12354-5*, in *Atti della 2° Convention Nazionale del Gruppo di Acustica Edilizia, L'evoluzione e l'armonizzazione delle norme italiane ed europee sulla protezione acustica degli edifici*, Firenze, 13 dicembre 2010
- [28] UNI EN 12354-6:2009. *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Assorbimento acustico in ambienti chiusi*
- [29] EN 60268-16:2003, *Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*, European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels 2003
- [30] UNI EN ISO 14257:2004 *Acustica - Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche*
- [31] V. Hongisto, P. Virjonen, J. Keranen, *A new model for acoustic design of open offices*, in *Atti dell'International Congress on Acoustics*, Madrid 2007
- [32] www.odeon.dk
- [33] UNI EN ISO 3382-1:2009. *Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 1: Sale da spettacolo*

A&RT

Informazione pubblicitaria
Commercial information



Knauf: sistema comfort acustico

Knauf, da sempre sensibile alle tematiche del comfort abitativo e all'esigenze dell'edilizia, ha realizzato il Sistema Comfort Acustico. Il sistema Knauf risulta innovativo e all'avanguardia e rappresenta la soluzione ideale sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni.

Le soluzioni per il comfort acustico interessano integralmente l'edificio operando sia su superfici verticali, realizzando pareti e contropareti, sia su superfici orizzontali, quali controsoffitti o pavimenti.

In particolare, la tecnologia stratificata a secco adottata da Knauf consente, unitamente a un'adeguata progettazione e realizzazione, di ridurre al minimo livello l'inquinamento acustico negli ambienti e, in linea con la normativa vigente, di migliorare il comfort abitativo.

La scelta di un'unica azienda, in grado di fornire un sistema completo e prestazionale, offre maggiore sicurezza e garanzie al progettista, all'impresa e all'utente finale.

L'uscita della norma UNI 11367, nel luglio 2010, rappresenta un'importante novità che rilancia l'attenzione sul problema del comfort acustico degli edifici. Tale documento descrive nel dettaglio la procedura da seguire per determinare la classe acustica degli immobili.

La classificazione acustica nasce dall'esigenza di continuare il processo di definizione delle prestazioni degli edifici; dopo la certificazione energetica si vorrebbe dare all'utente finale la possibilità di comprendere e conoscere anche il comportamento acustico della propria abitazione.

La nuova norma sarà la base per il nuovo testo di legge che andrà a sostituire il D.P.C.M. 05/12/1997, recependo la UNI 11367.

Le classi acustiche introdotte dalla norma sono quattro e a ciascuna è correlata la percezione attesa (da parte dell'utilizzatore) dell'isolamento dell'abitazione. La determinazione della classe avviene, a partire dalle misure in opera, considerando il comportamento globale dell'edificio.

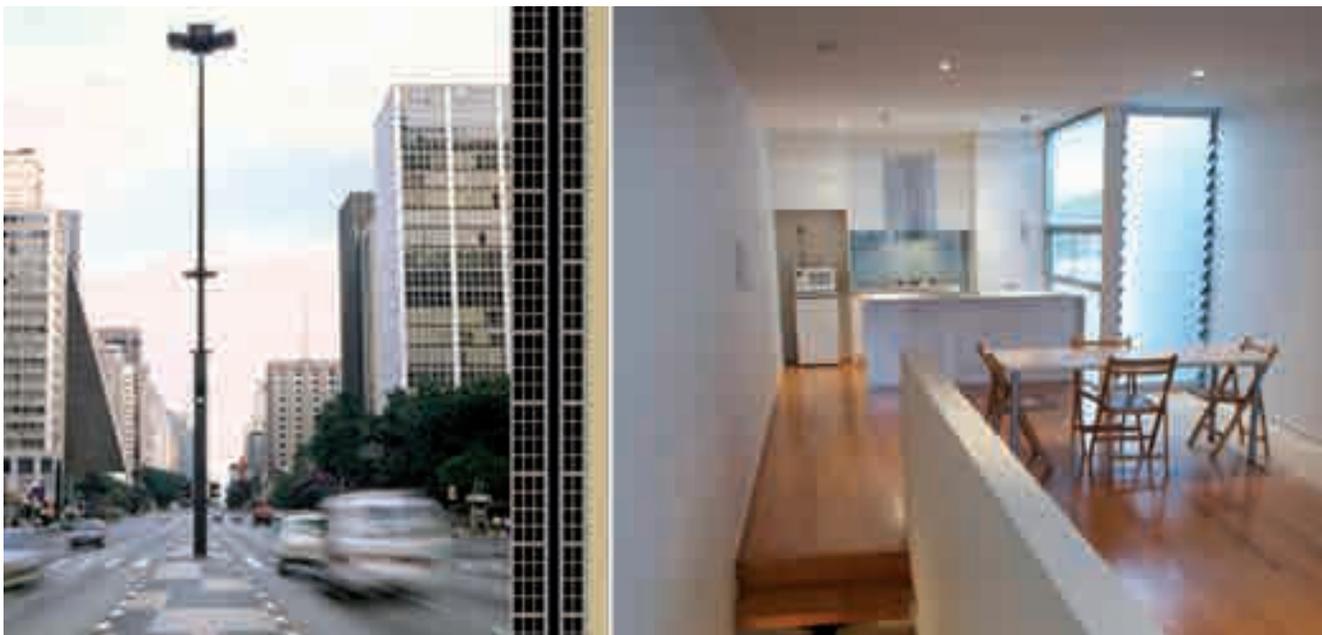
La classificazione acustica globale si calcola sulla base matematica dei singoli descrittori; nella classificazione delle unità immobiliari, oltre al valore globale, vanno sempre messi in evidenza gli indici per i singoli requisiti.

Quelli che devono essere verificati sono:

- a) indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata;
- b) indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra differenti unità immobiliari;
- c) indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti e/o adiacenti appartenenti a differenti unità immobiliari;
- d) livello sonoro immesso da impianti a funzionamento continuo;
- e) livello sonoro immesso da impianti a funzionamento discontinuo;
- f) indice di isolamento acustico normalizzato di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti della stessa unità immobiliare;
- g) indice del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti o affiancati della stessa unità immobiliare.

Knauf, presente da oltre quarant'anni sul mercato con soluzioni in grado di adattarsi all'esigenze dell'edilizia moderna in continua evoluzione, si è allineata alla recente normativa introducendo il Sistema di Comfort Acustico; un sistema innovativo, completo e unico nel suo genere, un insieme di oltre 100 soluzioni certificate per rispondere ad ogni esigenza di fonoisolamento e fonoassorbimento. Il sistema Knauf è la soluzione ideale sia in caso di costruzioni nuove che di ristrutturazioni per un perfetto comfort acustico degli ambienti, operando sia su superfici verticali, realizzando pareti e contropareti, sia su superfici orizzontali, quali controsoffitti o pavimenti. Le soluzioni interes-

Sistema Comfort Acustico.



A&RT

sano integralmente l'edificio permettendo l'eliminazione dei rumori esterni ed interni, ma anche l'attenuazione dei fenomeni di riverbero degli ambienti garantendo così il miglior benessere per chi abita l'edificio.

Prodotto di punta del Sistema Comfort Acustico è l'innovativa lastra Knauf Silentboard, unica nel suo genere grazie al nucleo di gesso brevettato da Knauf, particolarmente indicata per la realizzazione di pareti, contropareti, controsoffitti in alberghi, sale di registrazione e studi radiofonici e nell'edilizia residenziale dove si vuole ottenere il massimo dell'isolamento acustico con il minimo ingombro.

Knauf Silentboard è anche una lastra di tipo antincendio, prodotta in conformità alla norma tedesca DIN 18180 e quella europea UNI EN 520. Le lastre, caratterizzate da una densità superiore rispetto a quelle in gesso rivestito, migliorano l'efficacia del meccanismo massa-molla-massa. Grazie all'innovativo ed esclusivo nucleo di gesso modificato, le lastre Silentboard hanno un potere fonoisolante molto elevato che deriva dallo spostamento, acusticamente più efficace, della frequenza di coincidenza f_{gr} (curva più morbida) e dall'aumento della massa riferita alla superficie (frequenza di risonanza).

Le lastre Knauf Silentboard hanno inoltre superato tutte le verifiche ed i collaudi previsti dall'iter certificativo dell'istituto di Baubiologie di Rosenheim ed hanno ricevuto il sigillo di collaudo "consigliato dal punto di vista biologico-abitativo".

Questa certificazione si basa su una visione complessiva dei prodotti e valuta gli effetti di carattere sanitario-biologico sull'uomo durante la produzione, la lavorazione e l'intero ciclo di vita, compreso l'impatto sull'ambiente durante e dopo lo smaltimento.

Da sempre Knauf produce un impegno costante nel favorire l'innovazione tecnologica nel settore dell'edilizia, con particolare attenzione alla salute dell'uomo e all'ambiente: le lastre Knauf Silentboard sono senza dubbio un ottimo risultato del gruppo in relazione alla ricerca e sviluppo dei sistemi in maniera da apportare nuove soluzioni e soddisfare nuove esigenze del mercato.

Edoardo Cignoni, Knauf



Sistema Comfort Acustico.



Lastra Knauf Silentboard.

Gyproc fa respirare la tua casa

Si parla tanto di come contrastare l'inquinamento dell'aria esterna, limitando le emissioni in atmosfera causate dalle automobili e dalle produzioni industriali, si parla poco o quasi nulla di ciò che si annida tra le mura degli edifici, compresa la nostra casa.

Ogni medaglia ha il suo rovescio: la casa isolata emette meno sostanze inquinanti in atmosfera, ma con un inadeguato ricambio d'aria i nostri polmoni continuano a respirare sostanze tossiche che noi stessi produciamo o che vengono silenziosamente emesse dalle superfici che ci circondano.

Una coperta corta? Non proprio: consapevole che i materiali edili possono essere un fattore di peggioramento della qualità dell'aria, Gyproc ha deciso di invertire la situazione trasformando i suoi prodotti in una fonte di miglioramento dell'aria.

Già da tempo molti materiali vengono additivati con sostanze in grado di purificare l'aria dagli inquinanti con un'azione che si mantiene costante nel tempo. Anche le lastre in gesso rivestito beneficiano di questa opzione; dopo anni di ricerca è stata realizzata Activ' Air, una soluzione efficace, permanente e modulabile su numerosi prodotti Gyproc. Questa nuova tecnologia utilizza un componente specifico classificato non pericoloso secondo la direttiva 67/548 CE e che non ha alcun impatto sull'ambiente. Incorporato in quantità ridottissima (1/1000 della massa) nella lastra, Activ' Air svolge un ruolo eccezionale: capta e trasforma in composto inerte il 70% dei VOC contenuti nell'aria degli ambienti chiusi.

Activ' Air innesca una reazione chimica che trasforma la formaldeide e gli aldeidi in composti inerti non più volatili e non pericolosi.

Tra i VOC con maggiore concentrazione nell'aria ci sono le aldeidi e le formaldeidi: specialmente queste ultime si riscontrano in quantità elevate nelle colle e nelle resine utilizzate per la produzione industriale di pannelli, pavimenti preincollati, parati o mobilie, ma anche in alcuni cosmetici, prodotti tessili e vernici.

Ne risulta che gran parte di quello che ci circonda negli ambienti chiusi è fonte di emissione di sostanze tossiche e che la loro concentrazione è molto più elevata all'interno che all'esterno; il ricambio d'aria o la ventilazione migliorano solo temporaneamente la qualità dell'aria, mentre la tecnologia Activ' Air rimane attiva ed efficace in modo continuativo per almeno 50 anni.

Efficacia e durata dimostrate in laboratorio

L'insieme delle prestazioni di Activ' Air è stato convalidato da test effettuati dal CSTB e da Eurofins, laboratori indipendenti rinomati nel settore delle bioanalisi ambientali, agroalimentari e farmaceutiche:

- Activ' Air elimina permanentemente il 70% dei VOC (assorbimento di 60 g/m² h - Rapporto Eurofins n. G06744-45);

Applicazione di lastre Activ' Air



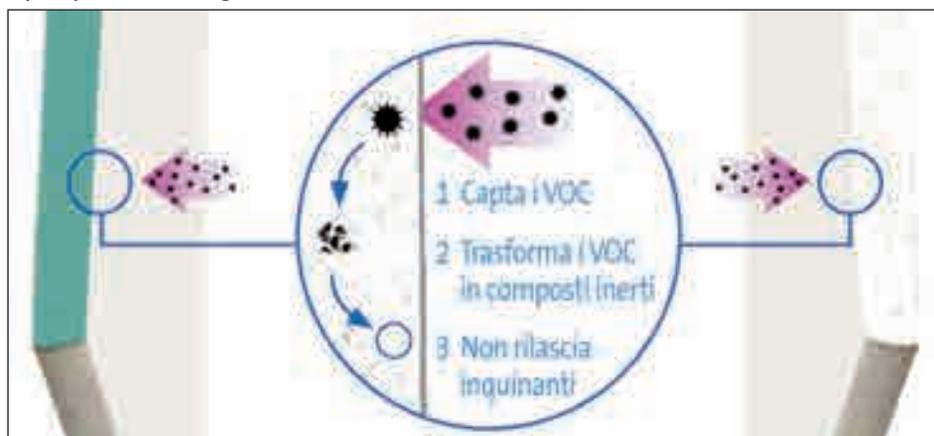
A&RT

- efficacia di Activ' Air dimostrata su finiture porose (tipo pittura e carta da parati (Rapporti Eurofins n. 768861-65A e B);
- i prodotti dotati della tecnologia Activ' Air sono stati testati dal CSTB per verificare la loro non emissione (Test CSTB n. SB 09-001 e SB 09-009);
- simulazioni svolte nei centri di ricerca Saint-Gobain dimostrano che Activ' Air in condizioni normali rimane efficace per almeno 50 anni;
- la qualità e le prestazioni dei prodotti sono garantite da controlli rigorosi durante la produzione.

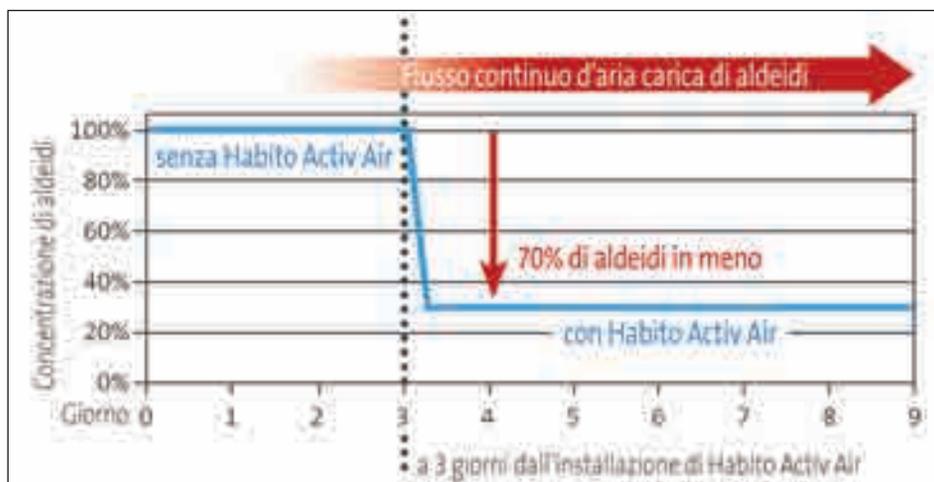
Grazie alla nuova tecnologia Activ' Air, Gyproc riesce a integrare nelle sue soluzioni tecniche una nuova funzione essenziale per la salute di tutti.

Luigi Semino, architetto, Promozione Tecnica Nord Ovest, Gyproc Saint-Gobain.

Il principio della tecnologia Activ' Air sui VOC.



Efficacia di Activ' Air sui VOC. Test di laboratorio.



Rapporto di prova Eurofins n. G06744-45

I test realizzati dimostrano che, per un flusso di inquinanti di 100 µg, corrispondente a una situazione estrema in rapporto alle medie solitamente rilevate (20-30 µg), Activ Air causa una rapida diminuzione pari al 70% del tasso di formaldeide, senza la riemissione di inquinanti. Il tasso continua a scendere fino ad avvicinarsi allo 0%, non appena la sorgente non emette più inquinanti.

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella «Rassegna Tecnica», in relazione ai su fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci invitati. La pubblicazione implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

SLAT

Consiglio direttivo

Presidente:

Carla Barovetti

Vice Presidenti:

Emanuela Recchi, Marco Filippi

Consiglieri:

Chiara Bordogna, Piero Cornaglia, Roberto Fraternali, Piera Levi-Montalcini, Elena Neirotti, Antonio Recupero, Valerio Rosa, Michele Sassi, Claudio Vaglio Bernè, Stefano Vellano

ATTI E RASSEGNA TECNICA
DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

Direttore responsabile: Carla Barovetti

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 giugno 1948.

Stampato da Graphic Center S.r.l., lungo Dora Voghera, 34 Torino

A&RT

PLANET NEO 62

Il 1° serramento
2 volte sostenibile

fresia
alluminio

Via Reiss Romoli, 267 - 10148 Torino
T. 011 2250211 - F. 011 2250290
info@fresiaalluminio.it

Planet Neo 62 soddisfa i requisiti per ottenere i crediti LEED® ed ITACA 2011

Questo innovativo prodotto nasce dall'attività di ricerca e sviluppo all'interno del gruppo Alsistem. L'obiettivo è quello di presentare sul territorio nazionale una versione evoluta della serie Planet, affermata con successo in questi anni nel mercato dei sistemi per serramenti in alluminio.

I componenti neocreati che costituiscono il cuore del nuovo sistema in alluminio consentono di mantenere le ineditissime sorprendenti prestazioni del modello tradizionale, raggiungendo elementi che, in associazione al vetro, lo rendono riciclabile praticamente al 100%.

Questo prodotto è il primo ad aver ottenuto la certificazione della tracciabilità dei propri elementi costitutivi, in linea con le prescrizioni normative contenute nei protocolli di GBC (Green Building Council) per la certificazione LEED® degli edifici e del protocollo ITACA 2011.

Il percorso ha previsto verifiche sul campo delle corrette modalità di produzione di PLANET NEO62 da parte di un Ente terzo (Bureau Veritas), il quale ha predisposto le verifiche a campione, rispetto ad un disciplinare precedentemente sottoscritto dalla nostra azienda.

A chiusura dell'iter PLANET NEO62 è stato riconosciuto il primo serramento italiano ad aver certificato la propria filiera e allo stesso tempo in grado di fornire crediti MR4 (Materiali da Riciclo).

Crediti derivanti dall'utilizzazione di prodotti di riciclo, secondo il protocollo di certificazione LEED® per gli edifici sostenibili: un obiettivo ed una conquista che l'azienda si è prefissata in vista di un mercato sempre più orientato alla filosofia green.

Alsistem si rivolge infatti ad un consumatore sempre più attento alla riduzione delle emissioni di CO2 ed al comfort ambientale.

Un tempismo perfetto quello di Fresia Alluminio che anticipa l'ultimo slancio legislativo, ripreso dall'Italia dalle scelte europee per i serramenti in alluminio della pubblica amministrazione, che imprime un'accelerazione al processo di cambiamento ormai in atto da tempo e inserisce specifiche legate alla sostenibilità dei sistemi per serramenti.

Solo i sistemi virtuosi saranno ammessi a partecipare alle gare d'appalto pubbliche, uno stimolo per la ricerca tecnologica e una svolta che sa di vera e propria rivoluzione.

La serie Planet NEO 62 si presenta come un prodotto sostenibile, che mantiene le proprie prestazioni e garanzie di durabilità e affidabilità, semplicemente utilizzando alluminio secondario proveniente da riciclo, barrette in poliammide rigenerate e guarnizioni in termoplastico in sostituzione dell'epdm.

www.uponor.it

Soluzioni eccellenti
che migliorano la vita



Clima Uponor

Tecnologia invisibile al servizio del comfort

Acqua Uponor

Miglioriamo però ciò che la natura ha creato

**Benessere significa raggiungere equilibrio
tra corpo e ambiente:**

In tutto il mondo le nostre soluzioni radianti
creano un clima più confortevole risparmiando energia;
le nostre soluzioni per impianti idrosanitari
e trasporto fluidi sono semplici da installare e realizzati
con materiali durevoli ed ecologici.

Uponor, semplicemente di più.

uponor
simply more

A&RT

Sistema Comfort Acustico

Tempi duri per i curiosi



Oltre 100 soluzioni certificate per l'isolamento e l'assorbimento acustico

Sistema Comfort Acustico

Comfort acustico ottimale in tutti gli ambienti, grazie alle eccellenti prestazioni di fonoisolamento e fonoassorbimento.

Le soluzioni KNAUF per il comfort acustico interessano integralmente l'edificio: dalle pareti divisorie alle contro-pareti, dai massetti ai controsoffitti, fino alle facciate. La Tecnologia Stratificata a Secco riduce sensibilmente gli effetti dei ponti acustici, offre eccellenti prestazioni d'isolamento, consentendo al contempo l'agevole installazione delle reti impiantistiche nelle intercapedini. La scelta di un'unica Azienda in grado di fornire un sistema completo, offre maggiori sicurezze e garanzie sia al progettista sia all'utente finale.



KNAUF

Consulta la sezione
Sistema Comfort Acustico Knauf sul sito web
http://www.knauf.it/SISTEMA_SC/attivita.htm



A&RT

