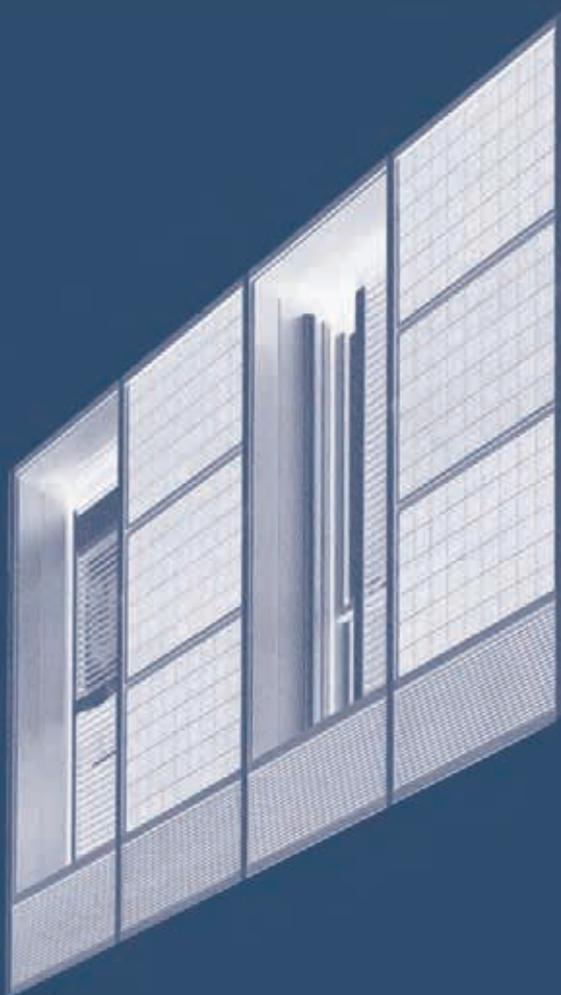


LUCIA CECCHERINI NELLI

**Soluzioni innovative di  
risparmio energetico per  
edifici Nearly Zero energy**

*Esperienze di progettazione ambientale*

**R**





La serie di pubblicazioni scientifiche **Ricerche | architettura, design, territorio** ha l'obiettivo di diffondere i risultati delle ricerche e dei progetti realizzati dal Dipartimento di Architettura DIDA dell'Università degli Studi di Firenze in ambito nazionale e internazionale.

Ogni volume è soggetto ad una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata al Comitato Scientifico Editoriale del Dipartimento di Architettura. Tutte le pubblicazioni sono inoltre *open access* sul Web, per favorire non solo la diffusione ma anche una valutazione aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.

Il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze promuove e sostiene questa collana per offrire un contributo alla ricerca internazionale sul progetto sia sul piano teorico-critico che operativo.

*The Research | architecture, design, and territory series of scientific publications has the purpose of disseminating the results of national and international research and project carried out by the Department of Architecture of the University of Florence (DIDA).*

*The volumes are subject to a qualitative process of acceptance and evaluation based on peer review, which is entrusted to the Scientific Publications Committee of the Department of Architecture. Furthermore, all publications are available on an open-access basis on the Internet, which not only favors their diffusion, but also fosters an effective evaluation from the entire international scientific community.*

*The Department of Architecture of the University of Florence promotes and supports this series in order to offer a useful contribution to international research on architectural design, both at the theoretico-critical and operative levels.*

R

**Coordinatore | Scientific coordinator**

**Saverio Mecca** | Università degli Studi di Firenze, Italy

**Comitato scientifico | Editorial board**

**Elisabetta Benelli** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Marta Berni** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Stefano Bertocci** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Antonio Borri** | Università di Perugia, Italy; **Molly Bourne** | Syracuse University, USA; **Andrea Campioli** | Politecnico di Milano, Italy; **Miquel Casals Casanova** | Universitat Politècnica de Catalunya, Spain; **Marguerite Crawford** | University of California at Berkeley, USA; **Rosa De Marco** | ENSA Paris-La-Villette, France; **Fabrizio Gai** | Istituto Universitario di Architettura di Venezia, Italy; **Javier Gallego Roja** | Universidad de Granada, Spain; **Giulio Giovannoni** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Robert Levy** | Ben-Gurion University of the Negev, Israel; **Fabio Lucchesi** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Pietro Matracchi** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Saverio Mecca** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Camilla Mileto** | Universidad Politecnica de Valencia, Spain | **Bernhard Mueller** | Leibniz Institut Ecological and Regional Development, Dresden, Germany; **Libby Porter** | Monash University in Melbourne, Australia; **Rosa Povedano Ferré** | Universitat de Barcelona, Spain; **Pablo Rodriguez-Navarro** | Universidad Politecnica de Valencia, Spain; **Luisa Rovero** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **José-Carlos Salcedo Hernández** | Universidad de Extremadura, Spain; **Marco Tanganelli** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Maria Chiara Torricelli** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Ulisse Tramonti** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Andrea Vallicelli** | Università di Pescara, Italy; **Corinna Vasič** | Università degli Studi di Firenze, Italy; **Joan Lluís Zamora i Mestre** | Universitat Politècnica de Catalunya, Spain; **Mariella Zoppi** | Università degli Studi di Firenze, Italy

LUCIA CECCHERINI NELLI

**Soluzioni innovative di  
risparmio energetico per  
edifici Nearly Zero energy**

*Esperienze di progettazione ambientale*



Il volume è l'esito di un progetto di ricerca condotto dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze.

La pubblicazione è stata oggetto di una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata dal Comitato Scientifico del Dipartimento DIDA con il sistema di *blind review*. Tutte le pubblicazioni del Dipartimento di Architettura DIDA sono *open access* sul web, favorendo una valutazione effettiva aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.

Ringrazio vivamente i ricercatori del Centro ABITA, i docenti e i professionisti che hanno condiviso con me la loro esperienza, fornendo contributi originali e di alta qualità scientifica arricchendo questa pubblicazione. Un ringraziamento particolare a Giada Gallo Afflitto per la sua competenza scientifica e dedizione nell'elaborare la schedatura delle 11 tesi del Master Abita che hanno interessato l'ambito energetico, i componenti tecnologici integrati con sistemi ad energia rinnovabile, i progetti di nuovi edifici e ristrutturazioni realizzate utilizzando il BIM.

Ringrazio inoltre gli studenti del Master Abita che, con le loro tesi, hanno contribuito ad approfondire temi di ricerca scientifica nel settore delle Tecnologie solari, per la riduzione dei consumi energetici negli edifici.

Un ringraziamento particolare al geometra Luigi Di Guida del Comune di Firenze, quartiere 1, che in questi anni ha messo a disposizione diversi casi studio di edifici scolastici, utilizzati per fare esperienza nel modulo "Esperto in energia EGE", e l'Ing. Marco Proserpi, progettista esperto energy manager nonché referente tecnico del settore energetico per TUV Italia. Alla redazione dei casi studio di audit energetici di tre edifici scolastici del Q1 del Comune di Firenze hanno partecipato gli studenti del Master ABITA della XIV esima edizione: V. Castellana, F. De Cristofaro, C. Ferrante, I. Meffe, A. Menin, L. G. Niglia, M. G. Perrini, M. Previtali, L. Fantacci, A. Maggini, C. Ruggieri, F. Visone, C. Cavallaro, G. Cavallaro, D. De Simone, I. Kleva, C. Oterbo, C. Sojaric, G. Virecci Fana. Infine un grande ringraziamento al prof. Marco Sala, direttore del Master Abita, che in questi anni ha ben saputo aggiornare i contenuti del Master in funzione delle ultimissime normative vigenti in campo energetico ed implementare l'insegnamento di software, come i BIM, in grado sia di coniugare il progetto architettonico con i simulatori energetici più attuali, con il solo scopo di formare dei professionisti specializzati nel settore energetico, in grado di inserirsi nel mondo del lavoro con una specializzazione unica.

*in copertina*

Polo Tecnologico di Lucca. Immagine Marco Sala

*progetto grafico*

**didacommunicationlab**

Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Firenze

Susanna Cerri  
Cecilia Marcheschi



**didapress**

Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Firenze  
via della Mattonaia, 8 Firenze 50121

© 2018  
ISBN 978-88-3338-012-4

Stampato su carta di pura cellulosa Fedrigoni Arcoset

ELEMENTAL  
CHLORINE  
**FREE**  
GUARANTEED



---

## INDICE

---

<b>Presentazione</b>	10
Marco Sala	
<b>Edifici interattivi e involucri dinamici. Strategie e tecnologie di riqualificazione energetica</b>	12
Lucia Ceccherini Nelli	
<b>BIM e simulazione ambientale nelle fasi iniziali del progetto</b>	48
Giuseppe Ridolfi	
<b>Efficientamento energetico, certificazione e audit energetici</b>	58
Alessandra Donato	
<b>Green design ed eco efficienza per un turismo sostenibile nel Mediterraneo: esperienze di progetto sull'isola del Giglio e Asinara</b>	68
Antonella Trombadore	
<b>Attività di ricerca e progettazione sostenibile: 11 tesi del master Abita</b>	80
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
<b>Componente Dinamico di Facciata a Concentrazione</b>	88
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
<b>Integrazione architettonica in facciata di dispositivi di ombreggiamento in mattoni e celle PV</b>	98
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
<b>Concentratori solari luminescenti tra Innovazione e Progettazione</b>	104
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	

<b>Schermature solari e simulazioni energetiche: casi studio a confronto</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	116
<b>Il BIM come strumento per la riqualificazione energetica degli edifici storici</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	126
<b>La simulazione energetica dinamica tramite il BIM, Ex-Lanificio di Stia</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	136
<b>n-ZERO FOUNDATION</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	148
<b>Proposta di riqualificazione energetica della Scuola di Roccastrada</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	156
<b>Diagnosi energetica. Presentazione di un caso studio dell'istituto comprensivo Manzoni a Torino</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	164
<b>Audit integrato via virtual tour per una scuola di Bitonto</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	174
<b>Sardegna Green Building: Analisi del fabbisogno energetico in ex complesso carcerario nell'isola dell'Asinara</b> Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	188
<b>Diagnosi energetiche: tre scuole del Comune di Firenze</b> Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	200
<b>Audit energetico di dettaglio: Scuola Secondaria di I grado Giosué Carducci</b> Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	218
<b>Audit energetico: Palestra San Niccolò</b> Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	228
<b>Audit energetico: Scuola di Primo Grado G. Verdi</b> Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	238
<b>Biografie</b>	246







**M1-Sustainable  
architecture and energetic  
renovation of buildings**



**M2-Design for Nearly  
Zero Energy Buildings**



**M3-Environmental  
energetic modeling**

**Master Structure  
Modules**



**M4-Build the future:  
buildings and smart cities**

**ML-Vocational project  
work**





**Moduli  
specialistici  
del Master  
Abita**

*sotto*  
**Foto di  
gruppo  
al Polo  
Tecnologico  
di Lucca**

Il settore delle costruzioni, pur avendo una limitata crescita delle nuove costruzioni e sviluppandosi soprattutto sulle ristrutturazioni, assorbe comunque una quota molto grande dei consumi energetici. Le nuove normative europee puntano ad incidere sulle modalità costruttive in questi anni per arrivare, dopo il 2020, a consumi della nuova edilizia pari o prossimi allo zero.

Il problema principale è l'edilizia esistente che, per la maggior parte, ha caratteristiche costruttive molto scadenti e che, per riqualificarla energeticamente, necessita di incentivi fiscali atti a stimolare il processo di accelerazione degli interventi e a ridurre i consumi; in questo scenario è d'uopo un maggiore impiego di soluzioni integranti tecnologie solari attive. Grazie agli incentivi fiscali e alla ormai più diffusa consapevolezza della necessità di ridurre i consumi energetici, la progettazione si rivolge verso un approccio ambientale olistico, tenendo conto degli impatti ambientali legati all'intero ciclo vita di una costruzione, alla sua gestione e al comfort indoor di chi la vive.

Le certificazioni energetico-ambientali rispondono a queste esigenze, svolgendo un ruolo di miglioramento energetico. L'utilizzo di nuovi materiali, performanti nelle prestazioni strutturali ed energetiche, la progettazione impiantistica e l'integrazione delle energie rinnovabili negli edifici costituiscono per la nuova edilizia di oggi.

Il Master Abita (in Architettura Bioecologica ed Innovazione Tecnologica), è stato istituito dal Centro interuniversitario ABITA dell'Università degli Studi di Firenze nel 2003, ed è giunto ormai alla quindicesima edizione, evoluta nei contenuti e aggiornata sull'evoluzione normativa in campo energetico-ambientale. Il master Abita ha introdotto, da qualche anno, lo strumento multidimensionale del Building Information Modelling (BIM), al fine di promuovere una metodologia di lavoro globale: dalla generazione di un modello prima semplificato, poi dettagliato, e comprensivo di dati economici, strutturali e gestionali sull'intero ciclo di vita della costruzione.

Questo volume, trattante sistemi innovativi di involucro per i NZEB, è stato curato dal responsabile e coordinatore dei moduli del Master Abita sull'efficientamento energetico e sulla formazione degli EGE (esperti in gestione dell'energia), Arch. Lucia Ceccherini Nelli; tale testo contribuisce in maniera lungimirante alla crescita culturale e tecnica, necessarie ad affrontare i notevoli cambiamenti che il settore edilizio dovrà affrontare nei prossimi anni.



---

# EDIFICI INTERATTIVI ED INVOLUCRI DINAMICI. STRATEGIE E TECNOLOGIE DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

---



**L'Opera  
House di Oslo,  
progettato  
dagli  
architetti  
Snoetta,  
rappresenta  
un gigantesco  
iceberg che  
emerge dalle  
acque**  
©L. Ceccherini  
N progettato  
dagli architetti  
Snoetta,  
rappresenta  
un gigantesco  
iceberg che  
emerge dalle  
acque.

**Lucia Ceccherini Nelli**

Università degli Studi di Firenze  
Centro Interuniversitario Abita

Molti edifici di nuova costruzione, con l'applicazione delle normative vigenti in ambito di risparmio energetico, sono realizzati con involucri poco disperdenti ed impianti efficienti verso il consumo di energia quasi zero.

In Italia, il Decreto Requisiti Minimi, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015 ed in vigore dal 1 ottobre 2015, è il nuovo riferimento per l'efficienza energetica in edilizia in attuazione della Legge 90/13 e in sostituzione dei D.lgs. 192/2005 e D.lgs. 311/06. Il Decreto citato recepisce la Direttiva Europea Edifici a Energia Quasi Zero (NZEB), fissando nuovi metodi di calcolo e requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche per gli edifici di nuova costruzione e per le ristrutturazioni.

Il Piano d'azione nazionale (PANZEB), è stato redatto da Enea, RSE e CTI (coordinati dal Ministero dello sviluppo economico), come linea guida per incrementare gli edifici ad energia quasi zero; contiene gli obiettivi intermedi di miglioramento prestazionale-energetico sia di edifici di nuova costruzione, che di quelli da ristrutturare in maniera consistente, indicandone le più idonee misure finanziarie atte alla loro promozione. Tale piano individua gli edifici ad energia quasi zero (Nearly Zero Energy Building - NZEB), e i requisiti tecnici ai quali essi devono attenersi per poter essere definiti tali.

Le problematiche energetiche e il concetto di sostenibilità (applicato alle trasformazioni progettuali in varie scale), richiedono nuovi strumenti di conoscenza e di analisi, che devono integrarsi con le tradizionali competenze dell'architetto.

L'esigenza di sostenibilità ambientale e della gestione energetica degli edifici necessita di una elevata qualità del processo di pianificazione, di gestione del territorio e di realizzazione delle opere, in base a criteri legati sia al basso consumo energetico, che all'elevata qualità ambientale.

In questo volume sono stati scelti dodici lavori di ricerca e di progettazione integrata con metodologia BIM (Building Information Modelling), appartenenti alle tesi del Master ABITA (Architettura Bioecologica ed Innovazione Tecnologica per l'Ambiente), per poter diffondere nuove soluzioni applicative e strategie innovative, sia a livello di involucro che di integrazione e diffusione delle energie rinnovabili in architettura e nell'ambiente urbano.



↑  
**Particolare della facciata sud dell'Opera House integrata con pannelli fotovoltaici, l'impianto fornisce parte del fabbisogno energetico del teatro**  
© L. Ceccherini N

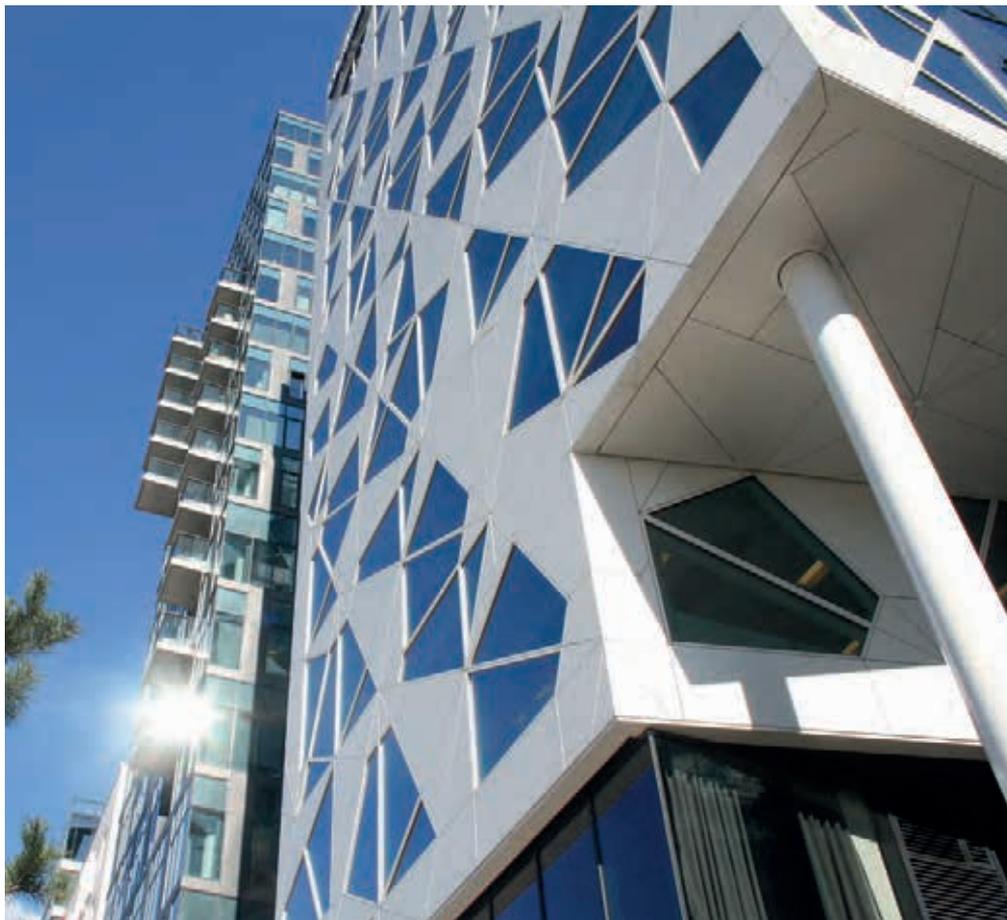
L'applicazione delle cosiddette "Tecnologie solari" è l'insieme delle strategie progettuali e costruttive attraverso le quali si persegue una architettura ambientale consapevole, ossia un'architettura che attraverso la sua configurazione compositiva e tecnologica, i componenti edilizi, i materiali e gli impianti impiegati, raggiunga un rapporto ottimale con l'ambiente circostante.

Tale architettura deve fornire il miglior comfort, indoor e outdoor per gli occupanti e ridurre i consumi energetici utilizzando, per quanto possibile, soluzioni tecnologiche che sinergicamente massimizzino l'impiego di risorse naturali riducendo l'impegno di sistemi impiantistici tradizionali ad elevato consumo energetico.

Progettare edifici NZEB significa interessare sia tutte le fasi del processo di progettazione per la trasformazione dell'ambiente naturale e costruito alle varie scale di intervento (dalla dimensione territoriale fino a quella dell'edificio), che l'ambito normativo e gestionale di impianti, componenti edilizi e materiali da costruzione sostenibili. Progettare in modo sostenibile vuol dire altresì ridurre gli impatti sull'ambiente e sulla quantità di energia contenuta nei componenti edilizi, per valutare il loro ruolo attivo nella vita dell'edificio fino alla loro dismissione (LCA, Life Cycle Assessment).

La fase progettuale e tecnologica del master ha coinvolto diversi ambiti della progettazione: la scala urbana, l'edificio e il singolo componente edilizio.

In particolare sono state scelte alcune tesi di ricerca trattanti più soluzioni per l'involucro



⬆️ L'edificio ha un carattere unitario, e al contempo frammentario, l'involucro del Barcode Oslo Deloitte dello studio Snøhetta è ottenuto mediante una serie di pannelli, in alluminio e vetro, montati su una struttura metallica, a sua volta fissata alla struttura principale sorretta da pilastri circolari. La soluzione formale consente di ottenere una texture articolata e dinamica attraverso l'utilizzo di quattro pannelli tipo, più dei pezzi speciali per le soluzioni d'angolo. Tre semplici forme geometriche, disposte secondo direzioni verticali, orizzontali e inclinate, vengono alternate a trasparenze in vetro e a opacità in alluminio bianco © I. Ceccherini N

edilizio, mettendo cioè a confronto sistemi integrati a schermature solari, dinamici e interattivi, e sistemi mettendo a sistema il fotovoltaico e il solare termico.

Obiettivo comune è quello di migliorare il comfort invernale riducendo così i consumi energetici attraverso:- lo sfruttamento dell'energia solare, tramite l'effetto serra e l'integrazione delle energie rinnovabili;

- l'orientamento degli edifici, l'inserimento di atri, di serre, di finestre a guadagno diretto, di lucernari e di pannelli solari termici;

- la riduzione delle dispersioni termiche, utilizzando un buon isolamento termico, la massa termica e materiali innovativi come i TIM (Transparent Insulation Materials) e PCM (Phase Change Materials);
- componenti dinamici di facciata e soluzioni cinetiche (filtri ambientali capaci di regolare i flussi di calore, la radiazione solare, l'aria e il vapore, convertendo la radiazione in energia termica e/o elettrica);
- l'ottimizzazione di sistemi automatici di controllo BEMS (Building Energy Management System);
- l'impiego di schermature per favorire l'ombreggiamento estivo delle aree esterne e interne agli edifici;
- la gestione e il recupero delle acque piovane per uso irriguo e sanitario attraverso sistemi di fitodepurazione;
- la ventilazione naturale attraverso condotti di ventilazione, camini solari, torri del vento, aperture e canalizzazioni geotermiche;
- il raffrescamento evaporativo attraverso sistemi interni ed esterni agli edifici, nonché l'uso di vegetazione, vasche d'acqua e fontane;
- l'accurata scelta dell'aspetto cromatico e materico delle finiture esterne;
- il comfort visivo realizzato attraverso l'eliminazione di fenomeni di abbagliamento, o l'introduzione di condotti luminosi in aree poco illuminate naturalmente.

Un ulteriore aspetto ha interessato l'integrazione delle energie rinnovabili nell'architettura, sostituendo le tradizionali facciate trasparenti con tipologia fotovoltaica: pannelli in silicio cristallino o amorfo, frangisole fotovoltaici, in alluminio o in vetro-vetro capaci di filtrare e riflettere la luce in modo appropriato.

A scala urbana si è tenuto conto del controllo microclimatico delle aree esterne, con particolare attenzione al comfort nel periodo estivo, condizionato dall'irraggiamento solare e dal livello termo-igrometrico. Le soluzioni adottate, tra le quali: vegetazione, pergole, coperture aggettanti, tensostrutture per la schermatura della radiazione solare, hanno determinato benefici consistenti in suddette aree.

È stata data molta attenzione alla soluzione del fenomeno dell'isola di calore, causata dalle pavimentazioni stradali, dalle coperture e dagli involucri degli edifici: utilizzando materiali chiari e riflettenti, specchi d'acqua, tappeti erbosi e tetti verdi è possibile condizionare gli effetti provocati all'irraggiamento. Lo sfruttamento di vegetazione a foglia caduca, in prossimità degli edifici e in corrispondenza dei venti dominanti, ha permesso di ridurre la temperatura degli spazi aperti, direzionando la ventilazione nelle zone desiderate.



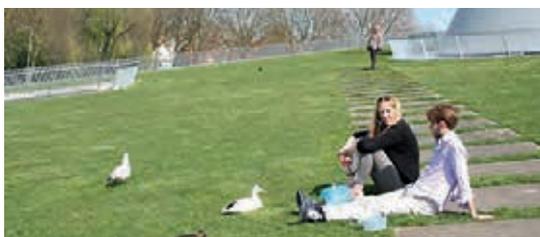
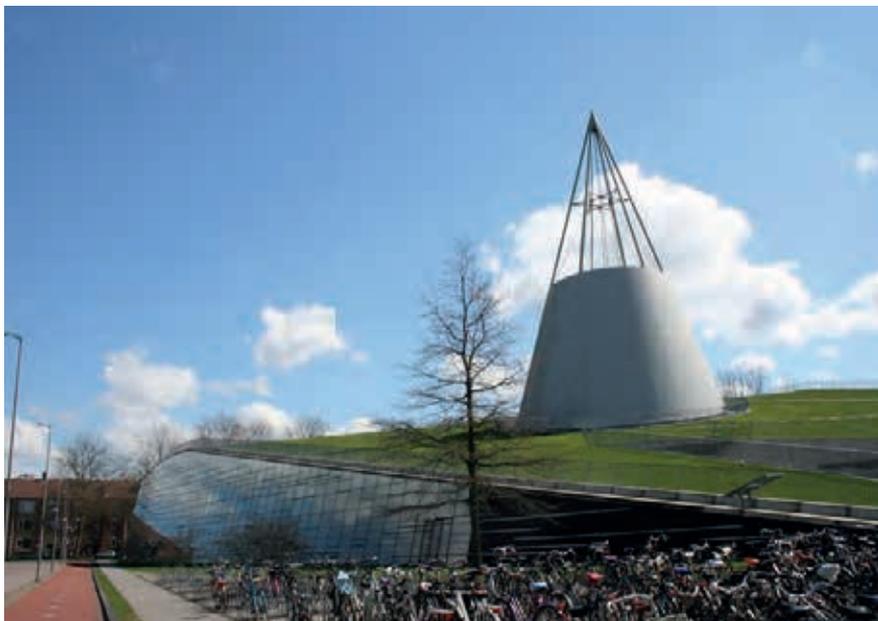
**Copertura verde e fotovoltaico integrato  
in copertura nella fabbrica Solon**  
© Solon



**Stazione di Rotterdam copertura  
integrata con PV, Benthem Crouwel  
Architects, MVSA Architects, West**  
© L Ceccherini N



**Biblioteca di  
Deft Mecano**  
Architects  
Copertura verde  
© I. Ceccherini N



*pagina a fronte*  
**Integrazione  
del verde sulle  
facciate e sulla  
copertura del  
Museo Enzo  
Ferrari, Modena,**  
Studio Future  
System

*sotto*  
**Sistema di  
recupero acque  
piovane dalla  
copertura  
vetrata, Museo  
Arte Moderna  
ad Oslo**  
© I. Ceccherini N

Alcune tesi del master Abita manifestano, attraverso l'impiego di idonei software di simulazione, capacità apprezzabili nel gestire unitariamente tutte quelle componenti del progetto architettonico che, direttamente o indirettamente, concorrono all'ottimizzazione delle scelte decisionali. Tali tesi rappresentano un valido contributo, in chiave attuale, all'approfondimento di tematiche legate alla sostenibilità ambientale ed al risparmio energetico; rispondono alla necessità di diffondere soluzioni (conformi ai provvedimenti normativi europei e nazionali), innovative, immediate e dinamiche come il mutevole clima delle città che abitiamo.

Obiettivo del Master ABITA è quello di sviluppare, attraverso la comprensione dell'evoluzione tecnologica e delle influenze culturali, un approccio sistemico e sostenibile, una concezione olistica del progetto.



## **Tecnologie di involucro interattive e dinamiche**

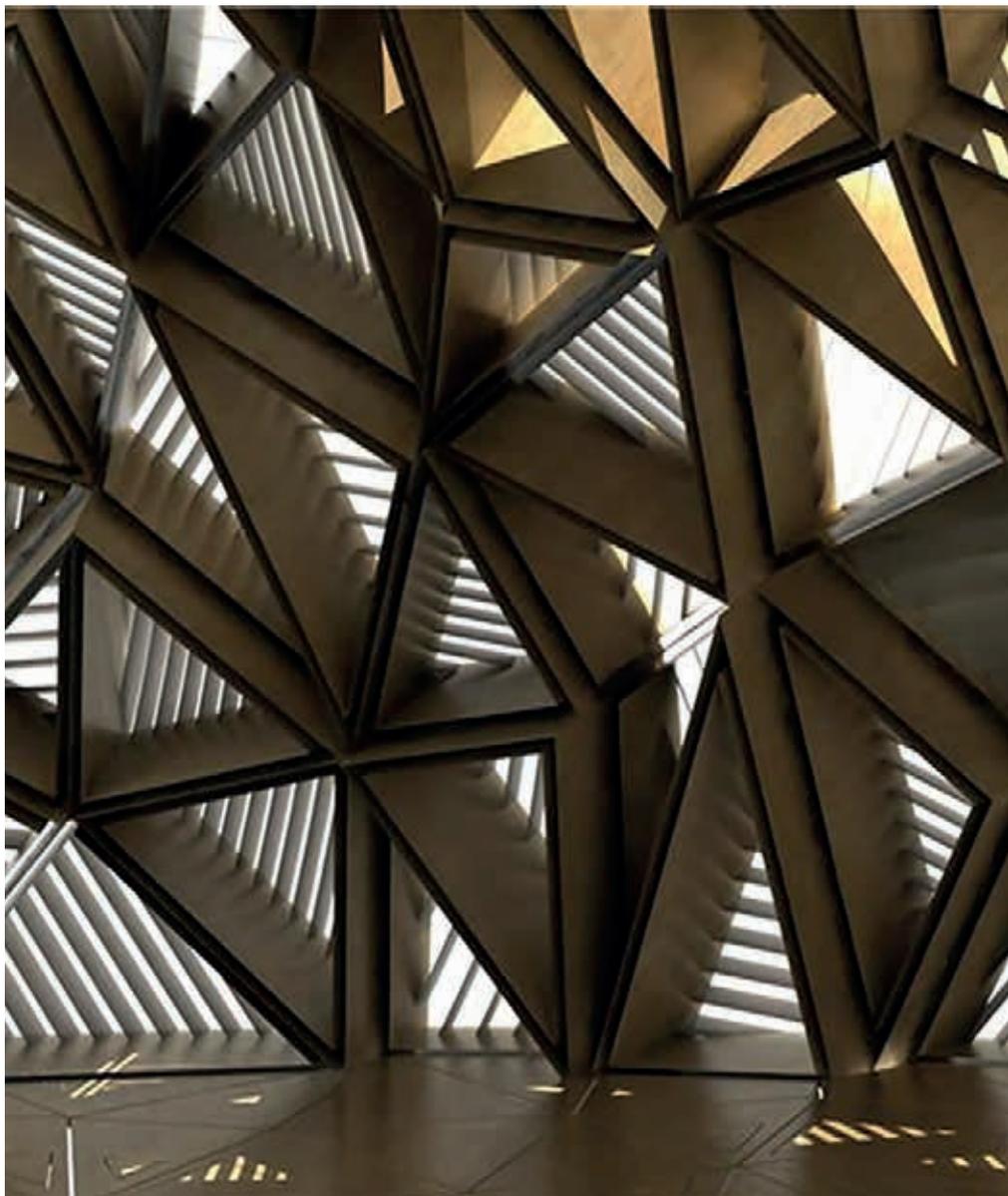
L'involucro dell'edificio è un elemento attivo che provvede automaticamente o autonomamente a trasformare le risorse ambientali esterne in sorgenti di energia per la climatizzazione interna; la facciata e la copertura sono gli elementi dove si sperimentano le possibilità e le applicazioni più interessanti, sia per la componente tecnologica che per quella architettonica.

Negli ultimi anni si è assistito ad una progressiva compenetrazione tra l'elemento tecnologico-impiantistico e quello edilizio, in particolar modo ciò si evince nei serramenti dell'involucro trasparente e nelle schermature solari.

In edifici quali le Torri Investment Council Headquarters ad Abu Dhabi, il concetto di edificio interattivo viene a coincidere con quello di edificio bioclimatico, dove i componenti esterni di facciata e di copertura diventano elementi di termoregolazione automatizzata, sfruttando le variazioni esterne del clima. Lo sviluppo delle facciate continue nell'architettura contemporanea oggi tiene conto anche delle aspettative di quella nicchia di utenti i quali conoscono e ritengono indispensabili, in virtù della necessità di confermare a se stessi e agli altri il proprio status, certi standard abitativi. Tale benessere corrisponde oltre che ad un'attenta valutazione estetica dell'edificio, esasperata talvolta nelle trasparenze, ad un controllo domoticizzato, e consapevole di non nuocere all'ambiente, delle quattro componenti del comfort: illuminazione, temperatura, velocità e umidità. Lo sviluppo delle facciate vetrate continue e a doppia pelle, si integra così a un maggior controllo del bilancio energetico degli edifici, sia per quanto riguarda le perdite che i guadagni, espressi in termini di calore e di ventilazione.

Il crescente inquinamento nelle aree urbane spinge i progettisti a curare il sistema di ventilazione, schermando l'interazione con l'esterno attraverso facciate trasparenti, interattive e dinamiche. A livello impiantistico e tecnologico si prediligono serramenti, frangisole e componenti integrati di automazione. L'interesse sempre maggiore dell'integrazione di più sistemi, per rispondere a specifiche esigenze ambientali ed energetiche, ha visto l'affermarsi del principio della regolazione climatica interna, ottenuta sfruttando tecnologie integrate con fonti di energia rinnovabile.

Il concetto di involucro dinamico, deriva dalla necessità di modificare le proprie prestazioni fisico-tecniche nel tempo, in relazione alle circostanze climatiche e alle esigenze degli occupanti. L'involucro edilizio diviene attivo quando non solo supporta, ma integra i sistemi impiantistici per la raccolta e la trasformazione dell'energia solare, nonchè per la ventilazione artificiale degli ambienti interni.

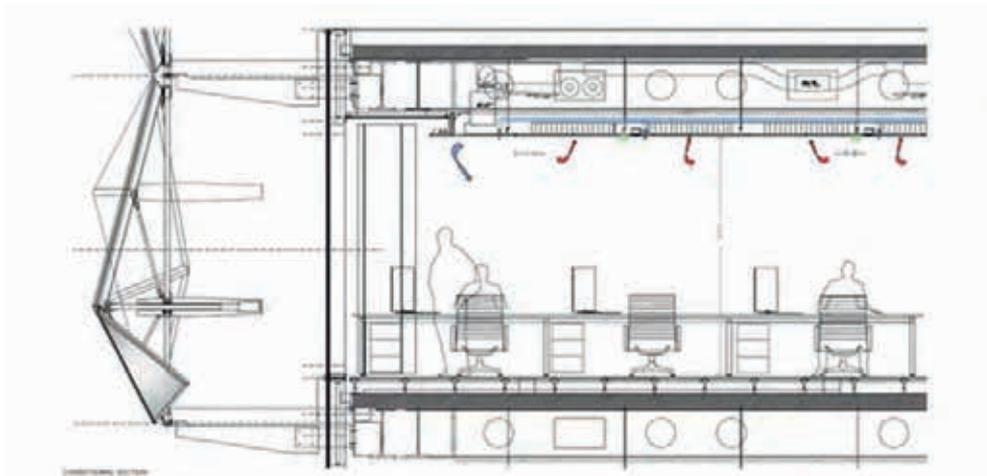


**Particolare interno della facciata.** Le Torri Abu Dhabi Investment Council Headquarters, che ospitano uffici per sedi finanziarie, raggiungono 150 metri di altezza. Sono costituite da una doppia pelle: un primo involucro vetrato è protetto da un secondo costituito da pannelli mobili a nido d'ape ancorati alla struttura portante tramite elementi metallici. L'apertura e la chiusura di questi dispositivi serve per controllare e regolare la quantità di luce che entra all'interno dell'edificio, evitando il surriscaldamento e garantendo una migliore illuminazione naturale, con conseguente risparmio energetico. Anche in questo caso il meccanismo è ricercato anche da un punto di vista estetico. © architetturasostenibile.it



sezione e particolare del sistema di schermatura, torri di Abu Dhabi Investment Council Headquarters, Aedads Architects and Arup Engineers, Abu Dhabi © architetturasostenibile.it

sotto particolare dell'esterno della facciata delle Torri Abu Dhabi © architetturasostenibile.it



Le tipologie di schermature per vetrate sono molto varie e diversificate tra loro, il loro funzionamento dipende dalla specifica soluzione progettuale, così come l'illuminazione naturale che diventa un elemento caratterizzante sia degli interni che dell'involucro dell'edificio.

In particolare negli edifici pubblici, ed in genere in tutti gli edifici non residenziali con uso prevalentemente diurno, le strategie di conservazione dell'energia sono frazionate in funzione al fabbisogno energetico e sono progettate in base ai periodi di utilizzazione.

Il dimensionamento delle superfici vetrate, il tipo delle aperture e della schermatura, la composizione dei vetri e la distribuzione della luce all'interno degli spazi, così come l'integrazione della luce artificiale, sono tutte considerazioni che devono intervenire anche in fase progettuale; l'architettura interattiva interviene in modo tale

*pagina a fronte*  
**Centro**  
**Competenze**  
**in Ambiente**  
**Virtuale e**  
**Information**  
**Communication**  
**Technology,**  
**Lucca atrio**  
**interno e vista**  
**della copertura**  
**con integrazione**  
**di pannelli**  
**fotovoltaici.**  
 © L Ceccherini



da poter essere utilizzata in tutto l'arco delle stagioni e dell'anno. L'importanza dello sviluppo di queste applicazioni non è limitato solamente al risparmio energetico che ne deriva, ma riguarda anche la diversa qualità della luce entrante, il rapporto con il clima esterno e, specialmente in ambienti lavorativi o di studio, può costituire un importante fattore migliorativo dei ritmi circadiani attraverso una maggiore consapevolezza dell'evolversi della giornata.

La variazione della luce diurna è infatti un parametro indispensabile, contribuisce al benessere psicofisico in ambienti chiusi. Gli studi sulla possibilità di produrre e trasferire le variazioni di intensità di colore della luce all'interno delle costruzioni, dipendono dalle fluttuazioni intermedie della temperatura. In particolare, gli edifici che presentano un buon grado di isolamento termico, coinvolgono la struttura del fabbricato, utilizzando la massa termica nei processi di assorbimento del calore.

I condotti di ventilazione all'interno delle pareti e dei solai, messi in relazione con i sistemi di captazione previsti nell'edificio, con i relativi dispositivi di controllo, consentono di sfruttare le differenze giornaliere di temperatura: durante le notti estive l'edificio può essere raffrescato dissipando il calore tramite la ventilazione notturna; in inverno invece è possibile prolungare gli effetti dell'irraggiamento diurno anche con giornate nuvolose, grazie all'inerzia termica.

Le schermature interattive e dinamiche consentono di proteggere l'involucro dagli agenti atmosferici attraverso la modulazione di una doppia parete, controllata da sensori automatizzati, in funzione di specifiche variabili del progetto e del contesto nel quale il manufatto risulta essere immerso.

e la trasformazione dell'energia solare, nonchè per la ventilazione artificiale degli ambienti interni.

Le tipologie di schermature per vetrate sono molto varie e diversificate tra loro, il loro funzionamento dipende dalla specifica soluzione progettuale, così come l'illuminazione naturale che diventa un elemento caratterizzante sia degli interni che dell'involucro dell'edificio.

In particolare negli edifici pubblici, ed in genere in tutti gli edifici non residenziali con uso prevalentemente diurno, le strategie di conservazione dell'energia sono frazionate in funzione al fabbisogno energetico e sono progettate in base ai periodi di utilizzazione.

Il nuovo Centro Competenze in Ambiente Virtuale e Information Communication Technology fa parte del complesso del Polo Tecnologico Lucchese, destinato a funzioni di incubatore d'impresa per nuove attività, soprattutto giovanili.



↑  
**Centro  
Competenze  
in Ambiente  
Virtuale e  
Information  
Communication  
Technology,**

↶  
**Viste  
prospettiche  
della facciata  
schermata  
con sistema  
dinamico a layer  
sovrapposti  
progetto MSA  
Associati.**

© I. Ceccherini N

*pagina a fronte*  
**Facciata  
dell'Università  
di Kolding in  
Danimarca**

© Jeans Lindhe

*sotto*  
**Particolare  
della facciata  
dell'Università  
di Kolding  
con frangisole  
mobili in  
lamiera forata,  
Danimarca**

© Jeans Lindhe

L'intervento è fortemente caratterizzato da una progettazione a basso consumo energetico e bioclimatica, con il ricorso di energie alternative per abbattere i consumi energetici del fabbricato.

Sviluppato in collaborazione con la Provincia di Lucca, il progetto realizza un'architettura innovativa per uso delle risorse energetiche rinnovabili e per riduzione dei consumi necessari alla sua gestione, sia in termini di condizionamento, che di illuminazione.

Il complesso architettonico risulta costituito da tre corpi di fabbrica (ospitanti uffici e laboratori), collegati da uno spazio vetrato che si caratterizza come una serra, una grande piazza coperta, fruibile durante tutti i periodi dell'anno.

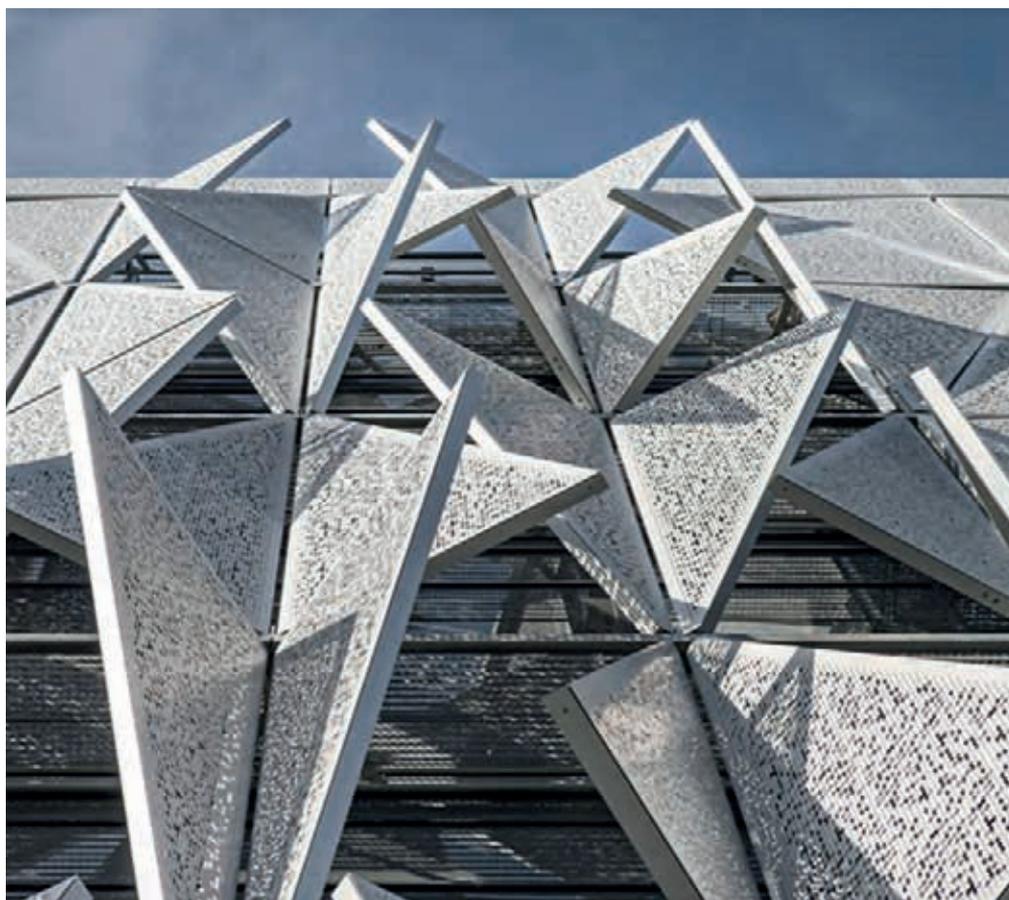
Tale raccordo è coperto da un lucernario integrato con pannelli fotovoltaici in silicio policristallino semitrasparente e da aperture a lamelle, che consentono una buona ventilazione dell'atrio evitando il surriscaldamento estivo garantendo ottime condizioni di comfort.

Le facciate orientate a sud ed est sono caratterizzate dalla presenza di un componente di facciata innovativo, dinamico e mutevole che permette di garantire le configurazioni più idonee, in relazione alle stagioni dell'anno.

La facciata dinamica è composta da diversi elementi che consentono: l'irraggiamento passivo, la schermatura solare, la protezione dagli insetti e la produzione di energia elettrica tramite l'inserimento in facciata di pannelli fotovoltaici in silicio policristallino.

Le scelte d'involucro e d'impianto (sonde geotermiche collegate ad un sistema a riscaldamento radiante), hanno permesso di raggiungere ottime prestazioni globali dell'edificio, in termini di fabbisogno energetico per superficie riscaldata.

Il dimensionamento delle superfici vetrate, il tipo delle aperture e della schermatura, la composizione dei vetri e la distribuzione della luce all'interno degli spazi, così come l'integrazione della luce artificiale, sono tutte considerazioni che devono intervenire anche in fase progettuale; l'architettura interattiva interviene in modo tale da poter essere utilizzata in tutto l'arco delle stagioni e dell'anno. L'importanza dello sviluppo di queste applicazioni non è limitato solamente al risparmio energetico che ne deriva, ma riguarda anche la diversa qualità della luce entrante, il rapporto con il clima esterno e, specialmente in ambienti lavorativi o di studio, può costituire un importante fattore migliorativo dei ritmi circadiani attraverso una maggiore consapevolezza dell'evolversi della giornata. La variazione della luce diurna è infatti un parametro indispensabile, contribuisce al benessere psicofisico in ambienti chiusi. Gli studi sulla possibilità di produrre e trasferire le variazioni di intensità di colore della luce all'interno delle costruzioni, dipendono dalle



fluttuazioni intermedie della temperatura. In particolare, gli edifici che presentano un buon grado di isolamento termico, coinvolgono la struttura del fabbricato, utilizzando la massa termica nei processi di assorbimento del calore.

I condotti di ventilazione all'interno delle pareti e dei solai, messi in relazione con i sistemi di captazione previsti nell'edificio, con i relativi dispositivi di controllo, consentono di sfruttare le differenze giornaliere di temperatura: durante le notti estive l'edificio può essere raffrescato dissipando il calore tramite la ventilazione notturna; in inverno invece è possibile prolungare gli effetti dell'irraggiamento diurno anche con giornate nuvolose, grazie all'inerzia termica.

Le schermature interattive e dinamiche consentono di proteggere l'involucro dagli agenti atmosferici attraverso la modulazione di una doppia parete, controllata da sensori automatizzati, in funzione di specifiche variabili del progetto e del contesto nel quale il manufatto risulta essere immerso.

e la trasformazione dell'energia solare, nonché per la ventilazione artificiale degli ambienti interni.

Le tipologie di schermature per vetrate sono molto varie e diversificate tra loro, il loro funzionamento dipende dalla specifica soluzione progettuale, così come l'illuminazione naturale che diventa un elemento caratterizzante sia degli interni che dell'involucro dell'edificio.

In particolare negli edifici pubblici, ed in genere in tutti gli edifici non residenziali con uso prevalentemente diurno, le strategie di conservazione dell'energia sono frazionate in funzione al fabbisogno energetico e sono progettate in base ai periodi di utilizzazione.

Il dimensionamento delle superfici vetrate, il tipo delle aperture e della schermatura, la composizione dei vetri e la distribuzione della luce all'interno degli spazi, così come l'integrazione della luce artificiale, sono tutte considerazioni che devono intervenire anche in fase progettuale; l'architettura interattiva interviene in modo tale da poter essere utilizzata in tutto l'arco delle stagioni e dell'anno.

L'importanza dello sviluppo di queste applicazioni non è limitato solamente al risparmio energetico che ne deriva, ma riguarda anche la diversa qualità della luce entrante, il rapporto con il clima esterno e, specialmente in ambienti lavorativi o di studio, può costituire un importante fattore migliorativo dei ritmi circadiani attraverso una maggiore consapevolezza dell'evolversi della giornata.

La variazione della luce diurna è infatti un parametro indispensabile, contribuisce al benessere psico-fisico in ambienti chiusi.



**Padiglione**  
**Expo-One Ocean, Corea del Sud**  
© arch2o.com



**Immagini del movimento delle lamelle poste sulla facciata.**

'One Ocean' è stato il principale padiglione permanente dell' Expo 2012, tenutasi a Yeosu in Corea del Sud. L'edificio si caratterizza per una progettazione orientata verso la sostenibilità ambientale e l'adozione di un approccio biomimetico per il progetto della facciata cinetica. Le superfici continue, che disegnano la facciata, si muovono dalla posizione verticale a quella orizzontale integrandosi nella pelle continua del padiglione. La facciata cinetica risulta composta da 108 lamelle in polimeri rinforzati con fibra di vetro che si aprono e si chiudono. Tali lamelle sono azionate da una vite a ricircolo, comandata da un servomotore. Un sistema computerizzato consente la sincronizzazione degli attuatori, permettendo la regolazione di ogni singola lamella, e quindi, di realizzare diverse coreografie e disegni di facciata. Il meccanismo è alimentato dall'energia acquisita attraverso i pannelli fotovoltaici presenti in copertura, consentendo così di ridurre il consumo energetico. Dopo il tramonto, l'effetto visivo delle lamelle mobili è intensificato da elementi lineari a LED che si trovano sul lato interno del bordo anteriore della lamella.



*pagina a fronte*  
**Progetto di un sistema di facciata realizzato con materiale che al variare della temperatura la facciata si trasforma realizzando delle aperture, consentendole una diversa illuminazione degli spazi interni**  
©www.archdaily.com

Gli studi sulla possibilità di produrre e trasferire le variazioni di intensità di colore della luce all'interno delle costruzioni, dipendono dalle fluttuazioni intermedie della temperatura.

In particolare, gli edifici che presentano un buon grado di isolamento termico, coinvolgono la struttura del fabbricato, utilizzando la massa termica nei processi di assorbimento del calore.

I condotti di ventilazione all'interno delle pareti e dei solai, messi in relazione con i sistemi di captazione previsti nell'edificio, con i relativi dispositivi di controllo, consentono di sfruttare le differenze giornaliere di temperatura: durante le notti estive l'edificio può essere raffrescato dissipando il calore tramite la ventilazione notturna; in inverno invece è possibile prolungare gli effetti dell'irraggiamento diurno anche con giornate nuvolose, grazie all'inerzia termica.

Le schermature interattive e dinamiche consentono di proteggere l'involucro dagli agenti atmosferici attraverso la modulazione di una doppia parete, controllata da sensori automatizzati, in funzione di specifiche variabili del progetto e del contesto nel quale il manufatto risulta essere inserito.

### **Alcuni sistemi costruttivi**

Gli schermi detti 'interattivi' curano in maniera eccezionale l'aspetto progettuale, le interazioni tra ambiente interno ed esterno e, non ultimo per importanza, il processo cantieristico e produttivo in loco di elementi o dispositivi.

Tali tecnologie, spesso formate da più strati, sono l'esito di soluzioni progettuali e tecnologiche orientate a comporre un disegno organico e continuativo dell'involucro edilizio.

I materiali utilizzati sono di diversi tipi:

- lastre metalliche microforate o reti stirate;
- legno lavorato e bambù;
- vetro serigrafato o con altre particolari lavorazioni;
- cotto, sotto forma di lastre modulari, con caratteristiche meccaniche e d'assorbimento ben precise;
- laterizio, in forma tecnologicamente avanzata, come soluzione di facciata ventilata.

Tali schermi, orientati a promuovere soluzioni architettoniche dinamiche, creano effetti luminosi variabili a seconda dell'orientamento e dell'inclinazione, ritmicamente mutevole, dei raggi solari. La pelle esterna dell'edificio protegge l'interno dall'eccessivo irraggiamento favorendo, internamente, la più corretta ventilazione.



Un involucro dinamico acquisisce nuove caratteristiche e nuove prestazioni sulla base di ciò che la sua membrana percepisce dell'ambiente esterno: si trasforma in parete selettiva, controlla e filtra la luce, cambia forma ma mantiene saldo il legame edificio-impianto.

### **Materiali innovativi adattivi**

Per materiali adattivi si intendono tutti quei materiali in grado di mutare il proprio comportamento al variare delle condizioni climatiche.

Esistono diverse tipologie di materiali appartenenti a tale categoria; alcuni di questi sono più sperimentali, altri invece sono in uso da tempo.

Una ricerca svolta dall'ENEA e dal Politecnico di Milano classifica come tali un certo numero di materiali; tra questi vi sono:

- Thermo-bimetals (TBM);
- Polimeri o leghe metalliche a memoria di forma (SMA).

I primi hanno la caratteristica di rispondere dinamicamente ai cambiamenti di temperatura; il progetto 'Bloom' realizzato dallo studio DOISU ha pensato a una parete prefabbricata completamente realizzata con il materiale Bimetal capace di rilevare le inefficienze energetiche degli impianti meccanici.

Le "Leghe a memoria di forma" (Shape Memory Alloy, SMA), presentano le seguenti particolari proprietà:

- Memoria di forma; tali materiali hanno cioè la capacità di ricreare una particolare geometria imposta durante il processo produttivo.
- Super elasticità che, indotta durante il processo produttivo, fa sì che la lega riesca a

*pagina a fronte*  
**Viste del 'New Taipei City Museum of Art' di Kengo Kuma & Associates che assume colorazioni diverse secondo**  
© <https://it.pinterest.com>

*Sotto*  
**Dettaglio tecnologico della facciata in EFTE con diverse soluzioni di integrare, pannelli solari fotovoltaici, coperture verdi, e schermature solari**  
<https://it.pinterest.com>

modificarsi nelle tre dimensioni spaziali per poi riprendere, in fase di scarico, la forma originaria.

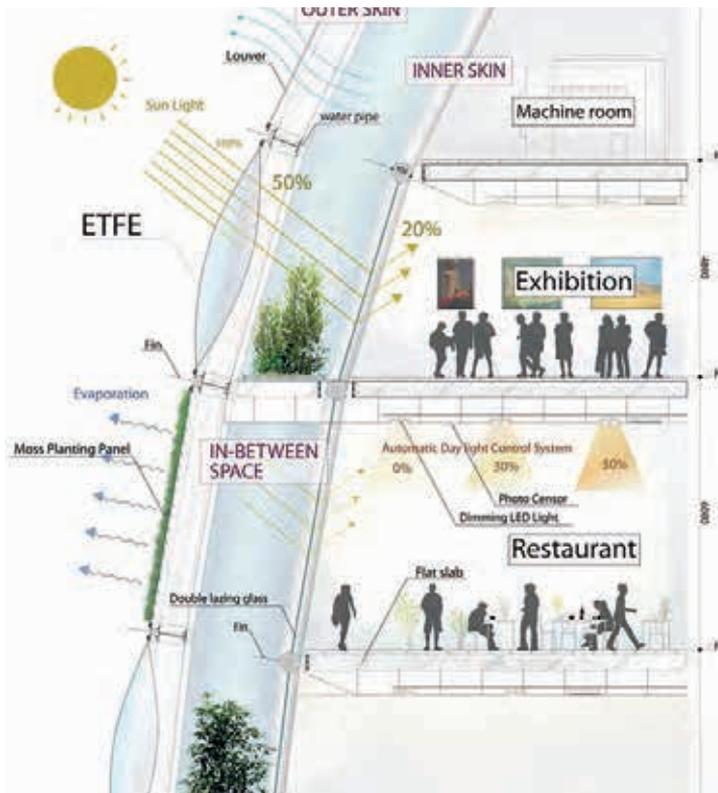
Interessanti, anche se attualmente la ricerca non ha sviluppato particolari soluzioni tecniche per il loro impiego in architettura, sono anche i materiali halocromici, che cambiano colore in base all'acidità e i materiali foto-meccanici, che mutano forma quando esposti alla luce.

### **Alcune applicazioni**

Sono attualmente pochi gli edifici-manifesto delle sperimentazioni tecnologiche per il controllo interattivo della luce e della temperatura, in grado di ottimizzare il comportamento energetico; quelle esistenti sono nate a scopo puramente sperimentale.

Un esempio interessante è rappresentato dal progetto 'Green cell', presentato nel 2011 dall'Arch. Kengo Kuma & Studio Associato al concorso, indetto dalla municipalità locale, per il 'New Taipei City Museum'. Il progetto prevede la realizzazione di una doppia pelle in EFTE, costituita da celle realizzate con materiali e funzioni differenti: fotovoltaiche, schermanti, isolanti e a giardino pensile, con il duplice scopo di abbattere i consumi energetici e di migliorare l'efficienza energetica dell'intero complesso edilizio.

Tra l'involucro interno e quello esterno, sono collocate inoltre una serie di micro pale eoliche, che sfruttano il ricircolo d'aria naturale per produrre corrente elettrica. L'edificio inoltre prevede la realizzazione di un impianto geotermico che, insieme all'impianto di condizionamento e climatizzazione, garantisce il massimo comfort interno dell'edificio a consumi ridotti. L'efficienza dello schermo attivo dell'involucro del museo è finalizzata a migliorare la qualità della vita dei cittadini e a diminuire notevolmente le emissioni nocive nell'ambiente. Il Taipei City Museum proposto da Kuma, estende la progettazione sostenibile non al solo ai singoli edifici ma a scala urbana, introducendo un nuovo modo di concepire lo spazio culturale, la città e i servizi. Altre strutture che possono essere considerate dinamiche sono quelle realizzate con materiali traslucidi, semi trasparenti in grado di essere illuminati dall'interno e creare soluzioni notturne molto suggestive, tra queste realizzazioni vi è l'Allianz Arena dello studio Herzog & de Meuron. Questo edificio è molto di più che una struttura sportiva destinata ad essere occupata solo durante le partite di calcio. L'ETFE (Ethylene Tetra Fluor Ethylene), materiale riciclabile al 100%, il materiale con il quale è realizzato l'involucro, formato da 2.874 cuscini romboidali, riveste il campo da gioco, le tribune e l'apparato funzionale. Ciascuno degli elementi, che compongono la facciata, è



composto da due membrane di colore bianco/trasparente per la pelle verticale mentre solo trasparente per la superficie orizzontale.

L'involucro dà l'impressione di completa leggerezza ma al contempo fortemente caratterizzante, un simbolo per la città, durante la sera (quando c'è una partita), l'involucro si illumina dall'interno, assumendo i colori (rosso, blu e bianco) delle squadre in campo: trasformandosi, in una sorta di installazione.

Mentre di giorno appare come un enorme nuvola di forma circolare e di color bianco, il senso di estrema leggerezza è accentuato dalla base distaccata di circa quattro metri da terra.

Un altro sistema innovativo di involucro è quello progettato dallo studio newyorkese Decker Yaton; si tratta di un sistema intelligente di schermatura che utilizza materiali in grado di cambiare forma senza consumare energia, in risposta alle variazioni climatiche. Lo schermo dinamico consente di ottenere varie gradazioni di ombreggiamento o luminosità dell'edificio in base al bisogno; mentre l'apertura e chiusura delle numerose aperture vetrate non consuma elettricità. L'areazione interna agli ambienti è garantita continuamente, così come la temperatura è, istante per istante, regolata da un impianto HVAC.

Esistono due versioni del sistema schermante: il primo è costituito da tende interne che, tramite l'integrazione di materiali a memoria di forma in SMA inseriti nella trama, apre e chiude le aperture.

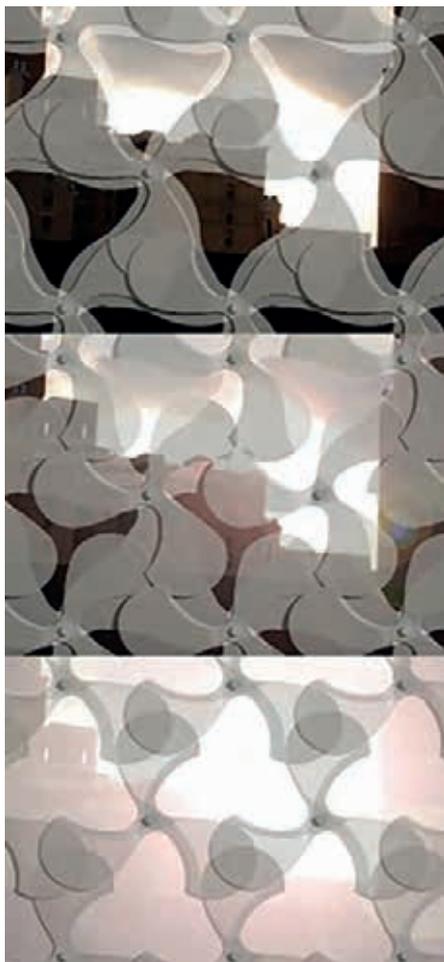
Nella seconda versione, il sistema di schermatura solare è formato da elementi interni ad elica che ruotano sovrapponendosi.

Le molle, sempre in materiale a memoria di forma nei punti di rotazione delle eliche si attivano, come nella prima versione, sia elettricamente che con l'innalzamento della temperatura.

Un altro interessante esempio, pensato ancora una volta dallo studio Decker & Yeardon, è la facciata omeostatica: una doppia pelle in vetro, con interposto un dispositivo capace di aprirsi e richiudersi a seconda della temperatura esterna all'edificio.

Tale dispositivo è un nastro in elastomeri dielettrici, materiale molto simile alla gomma, avvolto intorno ad un nucleo in polimero flessibile che lo rende polarizzabile a fronte della applicazione di una sorgente elettrica. Entrambi i lati del materiale sono rivestiti da elettrodi d'argento per consentire la riflessione della luce; distribuendo la carica elettrica attraverso il materiale, se ne provoca la deformazione.

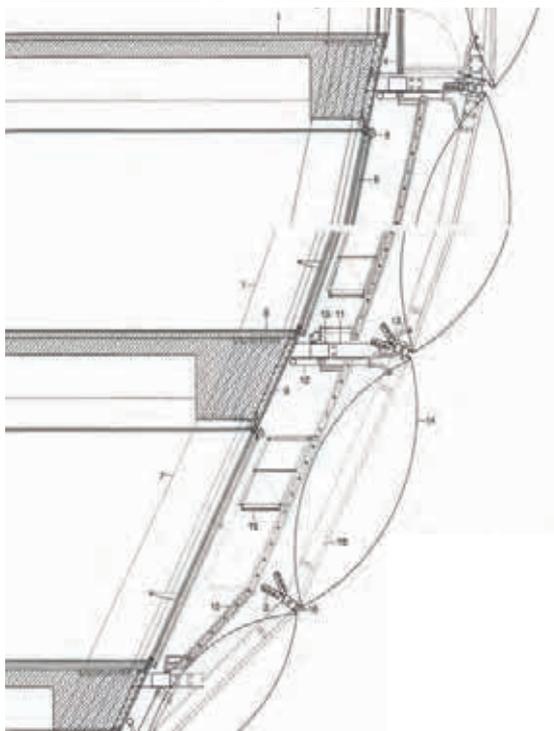
La facciata è così in grado di mutare al variare delle condizioni meteo secondo due configurazioni: quando la luce del sole innalza la temperatura della vetrata, le superfici



**Diverse configurazioni del sistema computerizzato di apertura di lamelle in metallo attuato tramite sensori, Decker Yaton**  
© designboom.com



**Particolare della facciata-in EFTE dello Stadio di Monaco Allianz Arena, Herzog & Demeron**  
© E. Faraoni e dettaglio costruttivo  
© <https://it.pinterest>.



del nastro si aprono, creando ombra all'interno dell'edificio; quando invece la temperatura scende, le superfici si contraggono per consentire l'ingresso di più luce all'interno.

### **Sistemi ibridi ST/FV a concentrazione integrati nell'involucro**

Il punto centrale della progettazione negli edifici NZEB è il contenimento del fabbisogno energetico tramite fonti rinnovabili. Tale necessità comporta l'adozione di sistemi impiantistici a basso consumo, una valutazione globale del sistema edificio-impianto, un rapporto multidisciplinare al progetto e una scelta di soluzioni architettoniche e costruttive che si armonizzino sinergicamente all'involucro edilizio e agli impianti.

L'involucro edilizio raggiunge una rilevanza fondamentale per il conseguimento dell'obiettivo 'zero energy', diventando un filtro selettivo in grado di controllare le variazioni ambientali e di mantenere il comfort degli ambienti interni.

La realizzazione di soluzioni di involucro ad elevate prestazioni consente di limitare i fabbisogni energetici e di ridurre i consumi di picco; alcuni sistemi di notevole interesse sono rappresentati dai sistemi a concentrazione fotovoltaico-termico.

Gli impianti a concentrazione assumono una rilevanza significativa grazie allo sviluppo di sistemi di raffreddamento, di movimentazione e di inseguimento solare; sono oggi molto più affidabili ed efficienti rispetto agli anni passati, rendendo questo tipo di impianti più performanti rispetto ai tradizionali pannelli fotovoltaici che, a parità di potenza, necessiterebbero di superfici più ampie.

Il funzionamento di un concentratore avviene attraverso l'ingresso della radiazione solare in una zona parabolica, mentre la superficie attiva presente sul sistema copre una piccolissima parte del sistema. Gli impianti a concentrazione solare sono dunque dei sistemi ottici, composti da lenti o specchi, che permettono di convogliare la radiazione solare sulle celle fotovoltaiche poste nel fuoco ottico del sistema. Utilizzando una piccola quantità di celle fotovoltaiche è possibile ottenere un migliore rendimento sia per la produzione termica che elettrica, con vantaggi sia energetici, che economici.

I sistemi che più si adattano all'integrazione nell'involucro edilizio sono quelli a media concentrazione, che impiegano lenti di Fresnel e i concentratori parabolici lineari a bassa concentrazione (LCPV,  $C < 10x$  o  $20x$  e  $> 18^\circ$ ), che prevedono la movimentazione su un singolo asse al fine di garantire un'illuminazione uniforme delle celle fotovoltaiche.

Un'altra tipologia di sistemi a bassa concentrazione ( $C = 2-3x$ ), per l'integrazione architettonica è costituita dai concentratori solari a luminescenza (LSC, Luminescent Solar Concentrator), che offrono buoni risultati di rendimento sia con la radiazione



**vista di una facciata integrata con vetri riflettenti LSC**

*a destra*

**pensilina di ricarica bici elettriche ENI.** Da diversi anni il Centro Ricerche Eni per le Energie Rinnovabili e l'Ambiente di Novara studia gli LSC e sono già stati inventati un centinaio di nuovi coloranti luminescenti in grado di catturare i fotoni emessi dal sole e di riemetterli ad una diversa lunghezza d'onda, con un colore diverso. Nel 2012 è stata realizzata la prima pensilina fotovoltaica, installata a Roma in Via Laurentina, è costituita da 192 pannelli quadrati di 50 cm di lato e permette la ricarica delle biciclette elettriche parcheggiate nella stazione di ricarica sottostante.

*sotto*

**finestra integrata con vetri LSC nel Centro di ricerca ENI di Novara.** La finestra intelligente integra un pannello in LSC che consente di produrre energia e al contempo data la colorazione gialla riflette una grande quantità di luce sulla mensola riflettente, la finestra è dotata di sensori in grado di automatizzare l'apertura delle schermature e del sistema di ventilazione integrato. © ENI

*pagina a fronte  
progetto di  
un sistema a  
concentrazione  
lineare ideato  
dal CREAR  
dell'Università  
degli Studi di  
Firenze  
soluzioni di  
integrazione  
architettonica  
in facciata  
come sistema  
frangisole sia  
da posizionarsi  
orizzontalmente  
che  
verticalmente  
©CREAR e  
L. Ceccherini N*

solare diretta che con quella diffusa. I concentratori solari a luminescenza sono costituiti da fluorofori, coloranti fluorescenti inseriti in lastre di trasparenti di tipo plastico o vetroso, che assorbono una parte dello spettro solare e la riemettono internamente alla lastra stessa, ad lunghezza d'onda maggiore.

La radiazione, intrappolata internamente al vetro, sfruttando la riflessione interna totale, viene direzionata lungo i bordi della lastra, dove sono presenti le piccole celle solari che provvedono alla trasformazione in energia elettrica.

Questi sistemi sono adatti per l'integrazione architettonica poiché non necessitano di nessuna tecnologia particolare per essere inseriti nell'edificio e presentano diversi vantaggi:

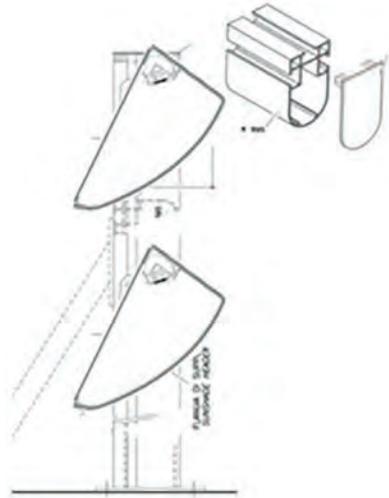
- possono essere realizzati su materiale plastico flessibile;
- non hanno bisogno di sistemi di inseguimento;
- sono piani, trasparenti e di gradevole effetto perché colorati.

Tuttavia, il principale svantaggio di questi pannelli, quando questi vengono pensati per essere integrati sul singolo edificio, è dato dal basso rendimento ma, quando diventano sistema a larga scala, per esempio integrati in contesto urbano, nell'arredo urbano o nella viabilità stradale, oltre a generare un alto rendimento (dato dalla somma di piccoli contributi), si possono ottenere gradevoli risultati estetici e funzionali.

### **Concentratore solare elettrotermico integrabile negli edifici**

All'interno dei sistemi solari a concentrazione si possono raggiungere temperature molto elevate, che non riducono però il rendimento del sistema. Temperature superiori a quelle ottenibili dai collettori piani possono essere raggiunte solo se, gran parte della radiazione solare, viene concentrata in un'area relativamente piccola di concentrazione. Il Centro Abita di Firenze sta sviluppando interessanti soluzioni per l'integrazione architettonica di un sistema a concentratore lineare di piccola taglia (20x), ideato e realizzato dal Centro Interdipartimentale di ricerca CREAR dell'Università degli Studi di Firenze e con le seguenti caratteristiche:

- dimensioni ridotte rispetto ad altri sistemi a concentrazione;
- facilità di integrazione con le strutture e gli impianti dell'edificio, per agevolare le autorizzazioni;
- produzione combinata di energia elettrica e termica, per disporre anche di acqua calda sanitaria, con la possibilità di programmare la temperatura di funzionamento;
- convertibilità dell'apparecchiatura, che può operare come corpo illuminante durante le ore notturne.



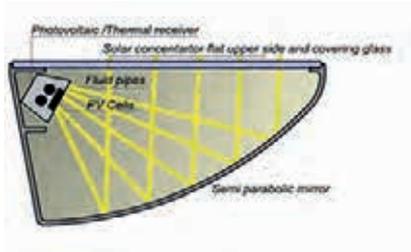
Caratteristiche tecniche del modulo con celle in silicio monocristallino:

- Dimensioni 200 x 32 x 20 cm;
- Fattore di concentrazione 20x;
- Potenza Elettrica 230 We;
- Potenza termica 1200 Wt.

Il sistema consente una Produzione di Energia maggiore del 20-30% rispetto ai moduli statici grazie all'inseguimento mono-assiale. Il Rendimento di un concentratore con celle al silicio monocristallino è pari a circa il 70 - 75% rispetto al rendimento delle tecnologie attuali (fotovoltaico 15-20%, termico convenzionale 25-35% e termico a concentrazione 45%).



sezione della parabola del sistema a concentrazione lineare e soluzioni di integrazione architettonica in una finestra come schermo riflettente e come sistema frangisole da posizionarsi orizzontalmente  
© CREAR e L. Ceccherini N



Il prototipo realizzato dal CREAR della Facoltà di Ingegneria di Firenze, consta di quattro unità a semi-parabola assemblate insieme, formate ciascuna da un elemento riflettente con un sistema lineare in cui sono ubicate le celle fotovoltaiche; la radiazione solare viene concentrata sul fuoco posto al centro della parabola.

La produzione di acqua calda è garantita dal riscaldamento di un fluido (acqua), che scorre attra-verso il condotto; tale fluido ottimizza anche il funzionamento dell'impianto riducendo la temperatura di esercizio. La combinazione dello specchio e del ricevitore consentono una concentrazione di un fattore 20x. Con questo sistema, il componente ibrido consente di ottenere una buona quantità di produzione di energia elettrica e termica; può essere integrato negli edifici come elemento frangisole o come moduall'interno grazie alla colorazione argentata dell'involucro. Può essere utilizzato sia orizzontalmente che verticalmente, anche se la produttività è di poco superiore nella seconda configurazione.

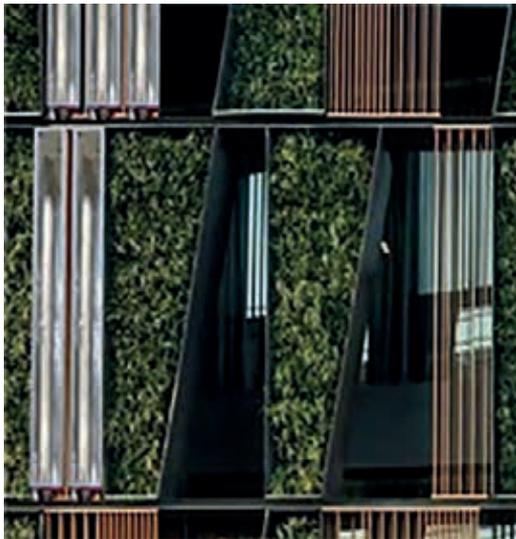
Il sistema frangisole, realizzato con i concentratori lineari, può soddisfare soluzioni di integrazione architettonica e raggiungere buoni livelli di produttività quando:

- Viene fatta una valutazione delle strategie di schermatura con diversi tipi di materiali, tra opachi e trasparenti, al fine di ottenere la migliore prestazione;
- Viene verificata a priori sia l'applicazione verticale, che quella orizzontale;
- Viene ottimizzata la connessione elettrica tra gli elementi.

Le soluzioni a concentrazione solare, integrate ai sistemi di schermatura, possono diventare interes-santi applicazioni di auto-produzione di energia, in particolare per supportare le strategie volte alla progettazione di edifici NZEB.

La resa di questi elementi dipende sia dalla lunghezza, che dalla quantità di elementi integrati sulla facciata dell'edificio; le soluzioni analizzate prevedono una produzione di 120 kWh elettrici e di 600-640 kWh termici.

La disposizione verticale presenta generalmente migliori performances, mentre la



**Alcune soluzioni di inserimento architettonico in facciata, gli elementi a concentrazione fotovoltaici e termici possono essere integrati con diversi materiali, cotto, legno, vegetazione, materiali per facciate ventilate e come sistema frangisole sia da posizionarsi orizzontalmente che verticalmente.**  
©CREAR e L Ceccherini N

disposizione orizzontale ha un rendimento migliore per gli orientamenti est-sud e ovest-sud.

### **Integrazione di un componente solare termico in facciata**

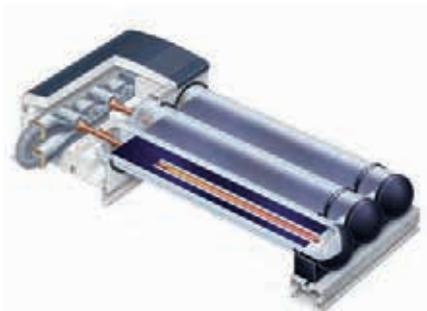
Il professore Philipp Molters della Technical University di Monaco, studia e ricerca da diversi anni componenti per facciate adattive, un suo componente interessante è costituito da tubi sottovuoto per superfici trasparenti.

Tale componente è in grado di adattarsi in funzione della temperatura, dell'umidità e della luce ricreando in autonomia quelle condizioni che possano rappresentare, per gli utilizzatori, il comfort.



Particolare ed esempio di integrazione di un frangisole in tubi sottovuoto fotovoltaico della Viessman.

a destra in alto a destra integrazione architettonica © viessmann-vitosol-200-t



Il sistema ha buone caratteristiche di ombreggiamento: i tubi sottovuoto sono in grado di intercettare la radiazione solare e di rifletterla all'esterno, realizzando una schermatura solare orizzontale mentre la luce, filtrando attraverso i tubi, diffonde internamente alla stanza la luce. L'aria calda che si forma tra le lastre di vetro, grazie all'irraggiamento solare diretto, viene scambiata con l'ambiente interno, diventando così nei periodi invernali, una piastra riscaldante; un altro vantaggio è il fatto che i tubi riscaldandosi consentono di ottenere il riscaldamento dell'acqua. Infine, essendo l'elemento facilmente ripetibile in facciata, costituisce un'ottima soluzione di integrazione architettonica.

### Considerazioni conclusive

La realizzazione di nuovi edifici o la trasformazione di quelli esistenti in NZEB richiede il ricorso a soluzioni innovative, che mettano a sistema componenti sia di involucro, che di impianto a energia rinnovabile.

L'attività mira a rendere sempre più efficienti le prestazioni dei singoli componenti e a sviluppare soluzioni controllabili, volte a rendere dinamico l'involucro edilizio e adeguato all'evolvere delle condizioni ambientali esterne ed interne.

L'uso di materiali isolanti termici consente, anche con modesti spessori, di realizzare tamponature e coperture a bassa trasmittanza termica; ad esempio, i pannelli isolanti in aerogel possono arrivare a conduttività termiche di  $0,013 \text{ W/mK}$ , mentre i pannelli sotto vuoto raggiungono i  $0,007 \text{ W/mK}$ .

Attraverso l'uso dei cool material (ad elevata riflettanza), il miglioramento della prestazione estiva dei componenti opachi si lega maggiormente al controllo solare. Tali materiali sono:

- Coating elastomerici, i quali raggiungono livelli di riflettanza del 90%, con soluzioni che garantiscono una buona risposta cromatica;



**Vista assonometrica del particolare del sistema inserito in un componente di facciata con triplo vetro.** © M. Kestel

*a fianco*

**Illuminazione naturale di un interno durante la fase di monitoraggio, con sensori per il controllo delle condizioni di comfort**

© Philip Molter <http://www.philippmolter.com>



- Materiali altamente selettivi con elevata riflettanza, e materiali termo-cromici in grado di cambiare colore in funzione della temperatura superficiale, tornando alla colorazione naturale quando si raffreddano;
- Materiali a cambiamento di fase e foto-cromici che, migliorando l'inerzia termica della struttura, vengono utilizzati all'interno di intonaci, sia esterni che interni;
- Vetrature multi layer, per migliorare la selettività del componente vetrato;
- Vetri elettrocromici, i cui costi sono ancora molto elevati;
- Fotovoltaico trasparente a film sottile (DSSC), e quello organico con diverse tecnologie di stratificazione;
- Materiali a memoria di forma, per l'apertura e la chiusura dei sistemi di schermatura solare;
- Pompe di calore;



**Hub del Royal  
Melbourne  
Institute of  
Technology  
progettato  
dall'architetto  
Sean Godsell.**

Il sistema è un involucro 'adattivo', capace di modificare dinamicamente la propria configurazione geometrica e prestazionale, in sinergia con l'ambiente, al fine di assicurare comfort e efficienza energetica.

© Earl Carter

- Sistemi ibridi termici-fotovoltaici, in grado di produrre sia energia elettrica, che termica.

La ventilazione meccanica controllata a doppio flusso, che attraverso un processo termodinamico attivo a circuito di calore reversibile, permette di recuperare parte del calore contenuto nell'aria estratta dall'interno dell'edificio, favorendo il raffrescamento o il riscaldamento.

I sistemi di ventilazione meccanica più innovativi sono quelli dotati di scambiatore di calore e sensore di CO<sub>2</sub>, per la regolazione della portata dell'aria in funzione dell'effettiva presenza di persone e del loro numero.

I sistemi di automazione consentono di analizzare le condizioni esterne ed interne all'edificio, gestendo al meglio sia l'involucro che gli impianti.

Per gli edifici NZEB gli involucri più efficienti e meno energivori sono quelli a comportamento adattivo, ossia capaci di modificare le loro condizioni sia dal punto di vista energetico che termico e luminoso, in funzione del variare delle componenti climatiche stagionali e del luogo dove è ubicato l'edificio.

Il funzionamento dell'involucro dipende soprattutto dal rapporto tra la quantità di parti opache, trasparenti e schermature solari.

I sistemi di controllo dell'irraggiamento solare all'interno degli edifici sono molti: soluzioni di schermatura esterna e interna, incapsulati nel vetro camera, regolabili con sistemi di automazione, fissi e permeabili o meno all'aria.

L'involucro trasparente può usare vetri basso emissivi, selettivi o riflettenti; la dinamicità di comportamento della superficie trasparente si può avere con uno strato esterno sovrapposto, che può modificarsi al variare delle condizioni climatiche con conseguente miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio.

## Bibliografia

- Attienitis A., O' Brien W. 2015, *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*, Emst & Son, Wiley.
- Bellomo A. 2003, *Pareti verdi*, Sistemi Editoriali, Napoli.
- Blanc P. 2008, *The Vertical Garden. From nature to the city*, W. Norton, London.
- Cappelletti A., Catelani, M., Ciani L., Kazimierczuk M.K., Reatti A. 2016, *Practical Issues and Characterization of a Photovoltaic/Thermal Linear Focus 20X Solar Concentrator*, «IE-EE Transactions on Instrumentation and Measurement», vol. 65, pp. 2464-2475.
- Cappelletti A., Reatti A., Martelli F. 2015, *Numerical and Experimental Analysis of a CP-V/T Receiver Suitable for Low Solar Concentration Factors*, «Energy Procedia», vol. 82, pp. 724-729.
- Cappelletti A., Spadi A., Reatti A., 2015, *Performances Issue's Analysis of an Innovative Low Concentrated Solar Panel for Energy Production in Buildings*, «Energy Procedia», vol. 81, pp. 22-29.
- Catelani M., Ciani L., Kazimierczuk M.K., Reatti A., 2016, *Matlab PV solar concentrator performance prediction based on triple junction solar cell model*, «Measurement», vol. 88, pp. 310-317.
- Ceccherini Nelli L. 2007, *Fotovoltaico in architettura*, Alinea, Firenze.
- Ceccherini Nelli L. 2013, *Fotovoltaico, solare termico, eolico e materiali speciali*, «Almanacco dell'Architetto», Piano R., Piano C., Proctor Edizioni, Bologna.
- Ceccherini Nelli L., Gallo Afflitto G., 2018, *Integration strategies of Luminescent Solar Concentrators panels: a case study in Florence – Italy*, Springer, Chan.
- Ceccherini Nelli L., Chieli G., 2018, *Photovoltaic/Thermal solar concentrator integrated into a dynamic shading device*, Springer, Chan.
- Chemisana, D., 2011. *Building Integrated Concentrating Photovoltaics: A review*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 603-611. doi:10.1016/j.rser.2010.07.017.
- Chemisana, D., Rosell, J.I., 2011. *Design and optical performance of a nonimaging Fresnel transmissive concentrator for building integration applications*. *Energy Convers. Manag.* 52, 3241-3248. doi:10.1016/j.enconman.2011.05.006. <[https://www.researchgate.net/publication/232388244\\_Design\\_and\\_optical\\_performance\\_of\\_a\\_nonimaging\\_Fresnel\\_transmissive\\_concentrator\\_for\\_building\\_integration\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/232388244_Design_and_optical_performance_of_a_nonimaging_Fresnel_transmissive_concentrator_for_building_integration_applications)> (3241-3248).
- Croce S., Mazzarella L. 2004, *Facciate ventilate, facciate continue a doppia pelle, isolamento dinamico: la storia e le potenzialità applicative*, «Atti del convegno AICARR», Milano, pp.919-958.
- Dall'O G., Galante A., Soldani M. 2004, *Un doppio involucro trasparente con schermatura solare*, «Modulo».

<[https://www.researchgate.net/publication/321736766\\_A\\_Review\\_on\\_Building\\_Integrated\\_Photovoltaic\\_Facade\\_Customization\\_Potentials](https://www.researchgate.net/publication/321736766_A_Review_on_Building_Integrated_Photovoltaic_Facade_Customization_Potentials)> (603–611).

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X17305078?via%3Dihub>> (562–573)

Imperadori M. 2003, *Elasticità vs. inerzia*, «Modulo», vol. 273.

Imperadori M. 2004, *La spugna termica*, «Modulo», vol. 293.

Jodidio P. 2013, *100 Contemporary Green Buildings*, Tashen, New York.

Ministero dello Sviluppo Economico, *Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (Direttiva 2010/31/UE Art. 5)*, Dicembre 2014.

Piratheepan, M., Anderson, T.N., 2017. *Performance of a building integrated photovoltaic/thermal concentrator for facade applications*. Sol. Energy 153, 562–573. doi:10.1016/j.solener.2017.06.006

Piratheepan, M., Anderson, T.N., 2015. *Natural convection heat transfer in façade integrated solar concentrators*. Sol. Energy 122, 271–276. doi:10.1016/j.solener.2015.09.008. <<https://www.sciencedirect.com/journal/solar-energy/vol/122>> (271–276)

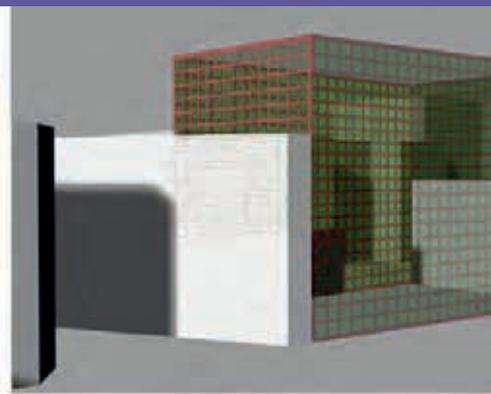
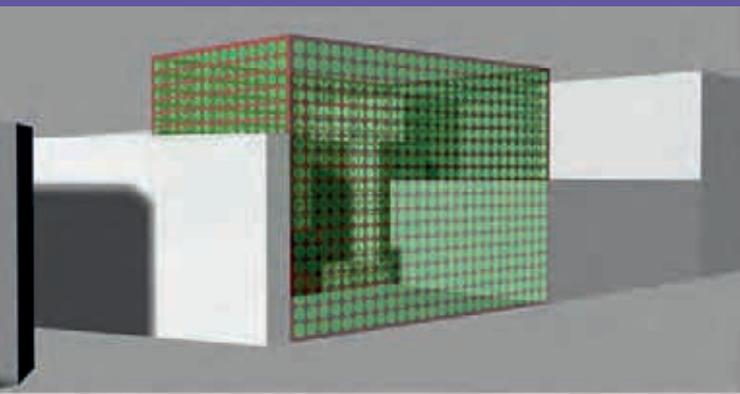
Poli T., Mainini A. G., Paolini R., Speroni A., Vercesi L., Zinzi M. 2013, *Sviluppo di materiali e tecnologie per la riduzione degli effetti della radiazione solare. A. Implementazione delle prestazioni e nuovi prodotti per il controllo della radiazione solare e costruzione di un archivio cartaceo di prodotti innovativi*, Report Ricerca di Sistema Elettrico Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA.

Pozzetti L. 2013, *Sistemi fotovoltaici a bassa concentrazione per l'integrazione architettonica*, XXVI ciclo dottorato in fisica, Università di Ferrara.

Ranaulo G. 2004, *Mediabuilding*, «Modulo», vol. 293.

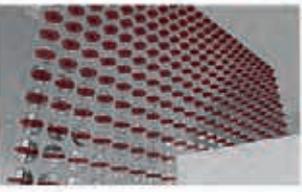
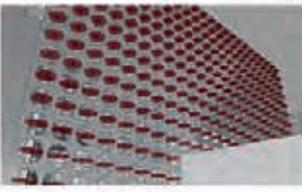
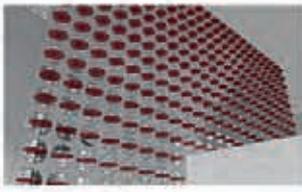
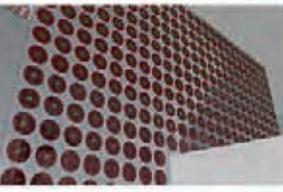
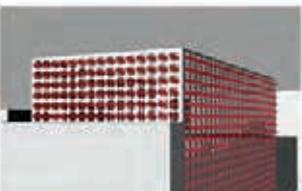
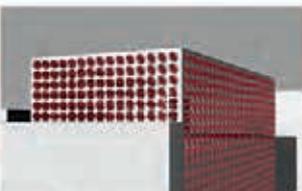
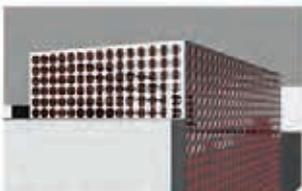
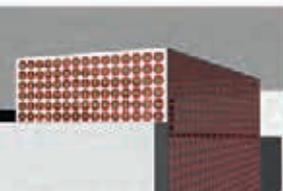
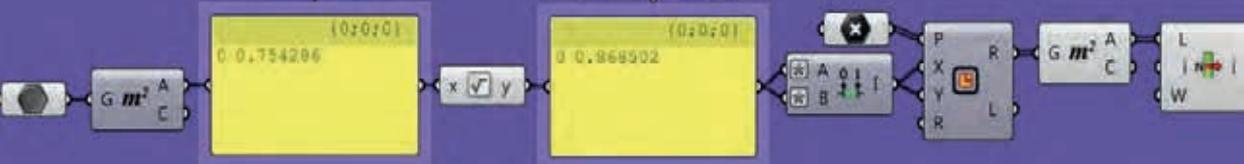
Romano R. 2011, *Smart Skin Envelope*, Fupress, Firenze.

Yeadon Lcc D. 2013, *SmartScreen Controlling Solar Heat Gain with Shape-Memory Systems*, <<http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems>> (23/08).



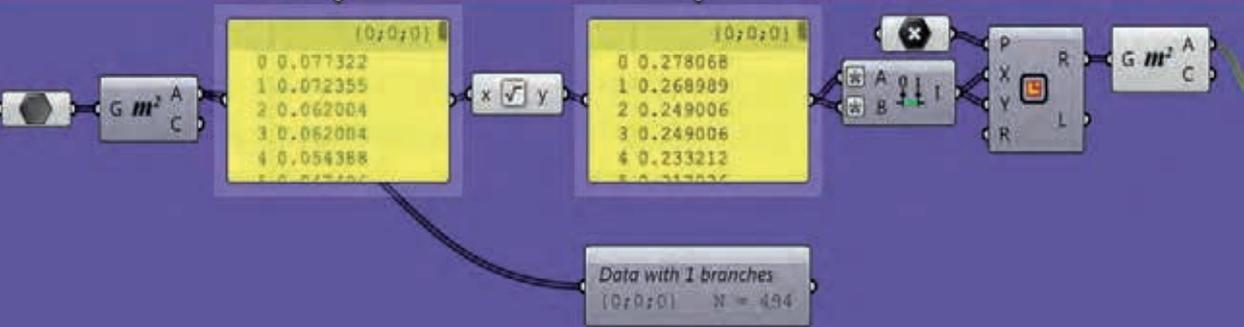
One Disk-Area

One Square-Edge



Circular PVs-Area

Square PVs-One Edge



---

# BIM E SIMULAZIONE AMBIENTALE NELLE FASI INIZIALI DEL PROGETTO

---

## BIM nuovo paradigma operativo

Il neologismo BIM appare per la prima volta nel 1992 in un paper pubblicato in *Automation in Construction* come acronimo di *Building Information Modeling* (Van Nederveen G.A., F. Tolman, 1992). Nell'uso comune identifica un nuovo dispositivo, o meglio e nelle parole di Deleuze (**Deleuze 1989: 11**), quella *matassa di traiettorie* riconducibili alla progettazione computazionale di tipo parametrico.

Infatti, è opinione condivisa che il BIM identifichi un *workflow* piuttosto che uno specifico prodotto software: un processo integrato di differenti applicativi capaci di dialogare tra loro poiché in grado di condividere una medesima logica e struttura informativa. Alla loro base vi è un radicale mutamento nella maniera di generare geometrie ove ai moduli tracciati dai compassi, alle misurazioni numeriche e poi alle equazioni matematiche si sostituiscono funzioni parametriche capaci di descrivere possibilità morfologiche e semantiche. (Kolarevic 2000: 2) La loro formalizzazione evolve dalle strutture sintattiche del *solid modeling* e della modellazione *object-oriented* integrando archivi d'informazioni di varia natura, tipo e dimensione tra loro interattivi e operabili attraverso l'indicizzazione della rappresentazione geometrica dell'edificio. (Eastman 2008:26-43) È una rappresentazione virtuale dell'edificio risultante dalla composizione di oggetti incorporanti informazioni capaci di manifestarsi in maniera contestualmente differente, quindi dotati di una sorta d'intelligenza. È un modo di *rappresentare* in cui una colonna, come affermava Louis Kahn, sa davvero di essere una colonna poiché è informata di tutti gli attributi ontologici (naturali e sociali); non più una convenzione grafica che chiede di essere riempita dei suoi significati e materialità (Levy 2012: 14).

In maniera ancor più ampia, tali dispositivi si pongono come risorse di conoscenze aperte alla condivisione e a usi molteplici, capaci di supportare azioni fondate su basi informative circostanziate lungo tutta la vita dell'edificio (Krinshnamurti 2014: 226).

Caratteristica comune dei vari applicativi BIM è di poter generare ed estrarre, da un unico sistema informativo (il modello), ogni elaborato grafico e alfanumerico di contratto da impiegare lungo le fasi operative della costruzione e della gestione di un immobile sino alla sua

dismissione. Per queste caratteristiche, al BIM si riconoscono capacità abilitanti afferenti agli ambiti del management. La realizzazione di un ambiente condiviso in grado di promuovere pratiche collaborative di team working si associa, infatti, a funzionalità che forzano l'emergere e il rispetto di precise procedure come *clash detection*, *model checking*, *code checking*, ... (Ciribini 2013: 92).

Tali aspetti sono stati colti dall'industria delle costruzioni come occasione per innalzare la produttività e ridurre il contenzioso, ma con l'eccezione di grosse società di servizio della progettazione, della costruzione e del *facility*, l'uso del BIM non è generalizzato. Ne discende che i prodotti commerciali e la ricerca si sono prevalentemente concentrati nello sviluppo di funzionalità rispondenti alle esigenze di questo segmento di operatori: nell'*Informative* BIM, prevalentemente relazionato all'automazione della produzione progettuale finalizzata a istruire attività di esecuzione (*Construction*), collaudo e gestione (*Operations & Maintenance*).

A fronte di questa situazione, negli ultimi anni va però registrata una progressiva estensione delle funzionalità BIM identificabili nel cosiddetto *Performative* BIM: cioè riguardanti attività esplorative e di simulazione tipiche delle fasi ideative tradizionalmente in capo alla figura dell'architetto (Marsh 2016).

### **Performative BIM. Progettazione parametrica e simulazione ambientale**

L'aspetto più innovativo della modellazione parametrica è rappresentato dal fatto che gli oggetti architettonici si definiscono anche – e prevalentemente – attraverso la specificazione delle loro relazioni piuttosto che delle loro qualità geometriche: attraverso quelle proprietà che in matematica si definiscono topologiche. È da questa caratteristica che discendono potenzialità prima sconosciute quali l'aggiornamento automatico al cambiamento di una parte o la generazione di varianti da modelli sorgenti (*versioning*) che consentono lo studio di alternative in modo esteso ed economico. Ne discende che è lo stesso concetto di modello che si modifica per acquisire una dimensione operativa: modello performativo fatto di *famiglie*, *tipi*, elementi che consentono di propagare l'aggiornamento (*istancing*) dei vari attributi a tutte le componenti del progetto in maniera dinamica e interattiva o di modificare un intero edificio variando uno dei parametri che lo definiscono. Queste caratteristiche hanno aperto una nuova traiettoria della simulazione progettuale comunemente identificata nel termine *Building Performance Simulation* (BPS). Il BPS nasce negli anni '70 come ambito specialistico del *Parametric Modeling* (PM) e del *Performance-Based Design* (PBD) enfatizzando la possibilità di prendere decisioni in vari ambiti del progetto non più sulla base del *what the building will look like* (Garber

2014:184), ma su chiare specifiche prestazionali (Kolarevic 2002). Negli ultimi venti anni la simulazione parametrica si è evoluta in diversi ambiti raggiungendo un soddisfacente livello di maturità soprattutto per le attività di verifica/validazione della progettazione esecutiva sino a diventare un irrinunciabile ausilio nell'ingegnerizzazione del progetto e una delle nuove frontiere del BIM come evidenziato dalla corsa delle maggiori software-house a integrare tali funzionalità all'interno dei loro prodotti.

Dai primi strumenti di calcolo energetico degli anni '60 i summenzionati sviluppi hanno investito anche la simulazione di tipo ambientale. L'aumento della componente impiantistica degli edifici, accompagnata dall'evoluzione di una normativa più puntuale sull'efficienza energetica e sulla conformità degli impianti, ha spinto la ricerca e la messa a punto di numerosi applicativi *computer-based* per la modellazione e la verifica energetica e ambientale. Dal calcolo quasi statico in forma tabellare si è passati a strumenti più sofisticati incorporanti equazioni differenziali e altri metodi già applicati in ambito strutturale come il calcolo agli elementi finiti con specifiche varianti (Malkawi 2005; Augenbroe 2011).

Conclusa una prima fase che si è concentrata sui motori di calcolo (*kernel*), l'attenzione si è spostata sulle interfacce con l'obiettivo di semplificare l'operabilità e la leggibilità dei risultati allo scopo di incorporare questi strumenti all'interno dei propri prodotti di modellazione BIM. Questa tendenza convive ed è alimentata dalla parallela diffusione del *cloud-computing* oggi sostenuta da precise logiche commerciali e da infrastrutture e protocolli telematici oggi in rapida evoluzione.

Un'altra area di sviluppo finalizzata all'integrazione si è concentrata sull'*interoperabilità*, sui protocolli d'interscambio dei dati e parallelamente sulla realizzazione di un'innumerabile quantità di *plug-in* e *add-on* dedicati a specifici aspetti della simulazione energetica e ambientale a dimostrazione che non esiste un software in grado di risolvere tutti gli aspetti della simulazione energetica (Anderson 2014: 172). Essi includono l'illuminamento e la ventilazione degli ambienti interni; le prestazioni acustiche; la geometria solare e l'ombreggiamento, gli impatti dei venti, ...: una vastità di strumenti che consente di condurre valutazioni di tipo prestazionale in maniera parametricamente interrelata alla geometria, ai modi occupare e usare gli ambienti, ai livelli di benessere attesi, al clima, alle caratteristiche tecnologiche della costruzione. (Mahadavi, 2003:162).

Alla varietà dei dispositivi si associano potenzialità di condurre verifiche di conformità basate su dati oggettivi, ma in maniera più generale abilitanti possibilità di formulare domande circostanziate circa comportamenti e impatti delle alternative progettuali in rapporto a determinate condizioni al contorno consentendo di passare da approcci del tipo *if then* a quelli del *what if?* (Saggio 2007: 36) e cioè: quali sono gli effetti di questa soluzione progettuale? Che

cosa succederebbe apportando queste o altre modifiche? Come risponderebbe l'edificio in condizioni estreme? (De Witt 2003: 25)

È evidente che l'infinità dei parametri e la molteplicità delle funzionalità sottintese dal sistema edificio sono talmente vaste che l'ipotesi di ricondurre simulazioni esaustive e integrate dei vari aspetti all'interno di un unico software BIM resta tuttora una chimera.

È quindi prassi delegare queste attività a team e dispositivi di calcolo specialistici eventualmente capaci di dialogare con i data-base informativi dei software BIM che in ambito energetico è procedura tuttora non esente da problemi la cui soluzione è allo studio in un'area di ricerca identificata dal termine *interoperability* (Eastman 2008: 65-92).

Come già detto, un altro limite è quello che vuole l'impiego della simulazione nelle fasi dettagliate del progetto o addirittura nelle fasi d'esercizio dell'edificio. Ciò deriva dalla necessità di assolvere determinati obblighi contrattuali, ma anche da un intrinseco obiettivo di precisione che può raggiungersi solo con un modello informato in maniera esaustiva o addirittura in presenza di un flusso di dati provenienti dal suo reale funzionamento. A fronte di questa situazione Andrew Marsh, inventore di Ecotect, ci fa notare che tali dispositivi stanno diventando sempre più veloci, flessibili, ma soprattutto semplici da usare ampliando considerevolmente il numero dei suoi potenziali utilizzatori, anche ai non esperti tra cui gli architetti, tradizionalmente non amanti del calcolo analitico.

### **La simulazione energetica nelle fasi iniziali della progettazione architettonica**

L'affrancamento della programmazione dallo *scripting*, la semplificazione *user friendly* delle interfacce e la possibilità di visualizzare in forme analogiche e di facile intuizione i risultati dei calcoli anche in alta risoluzione (Malkawi 2005:90-92), sono elementi che delineano un'espansione della simulazione parametrica in differenti ambiti applicativi e nelle stesse fasi iniziali della progettazione quando, cioè, si ammette un certo grado di approssimazione e allo stesso tempo si pone la necessità di esplorare il maggior numero di alternative. È una prospettiva che negli ultimi anni sta trovando un'attenzione crescente con pareri discordanti circa la sua reale efficacia. Tra i principali vantaggi si segnalano la possibilità di accelerare il processo ideativo e la capacità di supportare le scelte su basi prestazionali. Di contro sono proprio l'eccessivo grado di semplificazione degli strumenti e l'abilitazione all'uso di non specialisti che pongono più di un dubbio sull'affidabilità dei risultati ottenibili. Pur con tutte le incertezze è però evidente l'utilità di un suo impiego nelle fasi iniziali del progetto (A.I.A. 2012). Per differenti autori sono almeno tre le ragioni per una sua implementazione:

- l'ormai nota relazione tra qualità delle scelte iniziali e qualità finale dell'edificio e più estensivamente l'alto *leverage* delle risorse impiegate nelle fasi di avvio della progettazione (Donn 2014).
- il mutamento nella distribuzione delle risorse lungo le fasi della progettazione che con l'introduzione del BIM ha visto una migrazione dalle fasi a valle verso quelle a monte (MacLeamy 2004) come ben visibile nella proliferazione di software dedicati alle attività di programmazione e di rilievo;
- la diffusione di modelli d'intervento informati alle logiche di partenariato che anticipano l'ingresso degli operatori e portatori d'interesse nelle fasi iniziali del progetto stante la necessità di rendere oggettive e condivisibili le scelte di progetto (Eastman 2008:7).

In maniera più circostanziata gli strumenti di simulazione parametrica nel cosiddetto *early stage design* rappresentano un'opportunità di soppiantare pratiche opache dell'approccio tradizionale in cui l'ideazione è affidata all'esperienza e a conoscenze tacite di cui lo schizzo, che progredisce per approssimazioni successive verso la soluzione cercata (Maldonado 1992: 102), è emblema e strumento privilegiato. Di contro a una pratica esplorativa autorale che, – per forza di cose – tende a focalizzarsi su un numero limitato di aspetti significativi e a validare un ridotto numero di varianti che appartengono e formano il bagaglio professionale di un progettista (comunque non completamente dimostrabili e trasmissibili), l'approccio computazionale offre la possibilità di ridefinire la progettazione come pratica scientifica: una pratica che comporta l'esplicitazione del problema e dei suoi obiettivi; la formulazione di sperimentazioni fattibili, operabili e consistenti; la loro esecuzione per verificare quali controllo è in grado di superare; l'interpretazione dei risultati in maniera tra loro comparata o in riferimento a *benchmark*; in sintesi, la possibilità di padroneggiare una gran mole di fatti matematici teoricamente infiniti.

Nella realtà e allo stato attuale delle potenzialità di calcolo, anche l'approccio parametrico computazionale pone però delle limitazioni e necessita semplificazioni a fronte di una tentazione che, con questo tipo di strumenti, è sempre in agguato: l'*overmodeling*, ovvero l'arricchimento esagerato e ingiustificato del modello nella speranza di approssimare quanto più la realtà, ma il cui esito è l'inutilizzabilità del modello. (Holzer 2016: 26)

Il problema dell'affidabilità della simulazione nelle fasi iniziali della progettazione si sposta quindi sulla qualità dei dati, del *dataset* che definisce il modello e conseguentemente ne informa il calcolo. Se in linea di principio si può condividere l'assunto secondo cui decisioni informate sono migliori di decisioni prive d'informazione, è anche vero che una gran quantità di informazioni errate possono produrre risultati ben peggiori di quelli prodotti da scelte effettuate in loro assenza e affidate al buon senso. Un adagio della modellazione energetica

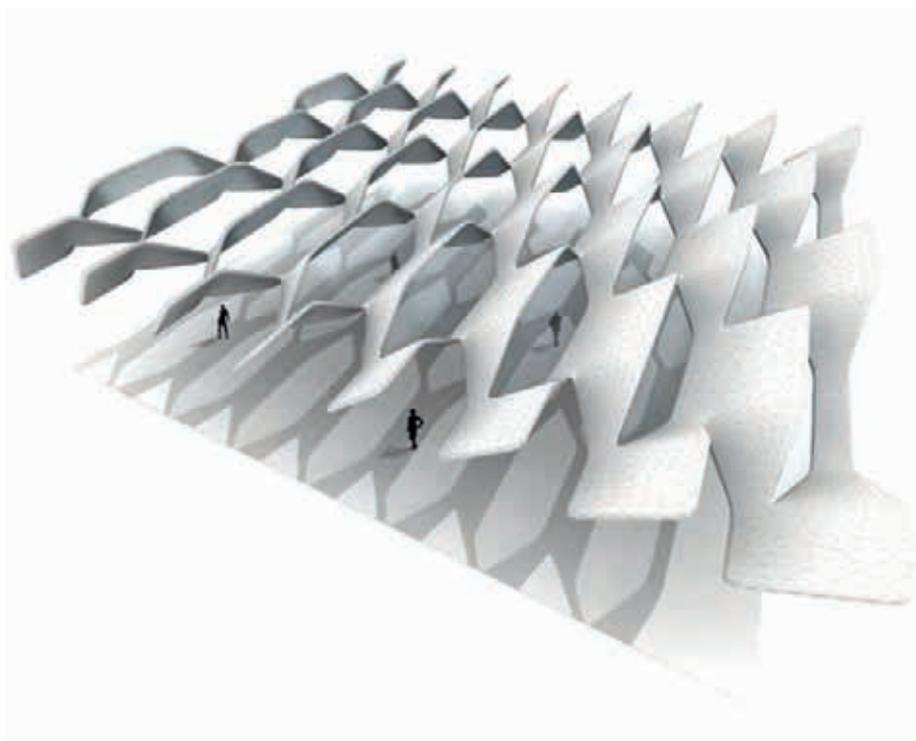
*pagina a fronte*  
**Studio Hadid**  
Vienna

da tenere bene a mente recita infatti: «*garbage-in, garbage-out!*». È necessario comprendere che la modellazione numerica si fonda sul *datum*: una nuova materialità non inerte ma informata matematicamente e abilitante funzionalità e ragione di sussistenza/verità del modello stesso (Badiou 1969). La sua estrazione in maniera pertinente e aderente alla realtà (ontologica), ai fini d'impiego (semantica) e alle modalità d'impiego (operabilità) sono quindi determinanti.

Di norma i parametri che esprimono questa *materialità* nella simulazione ambientale provengono da *pre-set* di default del software e rappresentativi di valori medi standardizzati. Questa condizione, che rappresenta una facilitazione d'uso, nella realtà può però rivelarsi pericolosa poiché può definire contesti operativi molto diversi dai casi specifici da valutare.

La raccomandazione è quindi di analizzare, ponderare e personalizzazione questi parametri (*data-set validation*) poiché la conoscenza dei loro valori, di come intervengono nelle procedure di calcolo, la scelta dei *benchmark*, del *green metric* sono fatti che non possiamo dare per scontato (Anderson 2014: 236). Da questi dipende non solo la qualità dei risultati, ma la struttura del modello stesso (Hemsath 2014: 99). Com'è intuibile tutto ciò richiede competenze disciplinari specifiche e approfondite non sempre presenti nel bagaglio di conoscenze degli architetti e, ancor meno, negli operatori CAD. Correggere o personalizzare questi valori per accedere a una modellazione che si affranchi dalle regole della pratica e dalla norma dello standard è un'operazione importante che richiede sensibilità e approfondita conoscenza della materia per far sì che l'aspetto *gaming* di questi software non prenda il sopravvento conducendo a valutazioni fuorvianti.

È una raccomandazione e una linea di condotta che possiamo ritrovare correttamente applicate in alcuni dei progetti raccolti in questo volume. Le modalità con cui è stato discretizzato il problema (*Sample Building Analysis*) attraverso tecniche di *Bim Cameo*, *Shoebox Analysis* e le triangolazioni attuate mediante strumenti di calcolo alternativi e il confronto dei risultati con expertise e misurazioni in situ costituiscono un'esemplarità metodologica di grande valore. Esempi di buona pratica in cui si conferma che oltre all'integrazione tecnologica delle parti edilizie è e sarà sempre più necessario (soprattutto quando s'interviene sul patrimonio esistente) far concorrere tutti gli attori e dispositivi del progetto verso l'approssimazione progressiva del problema: un nuovo modo di lavorare che, nel suo best seller, Steven Johnson, definisce *peer progressivism*. (Johnson 2012:48)



## Bibliografia

Ciribini A. 2013, *Level of Detail e Level of Development: i processi di committenza e l'Information Modelling*, «Techne», vol. 06, pp. 90-99.

Deleuze G. 1989, *Qu'est-ce qu'un dispositif?*, Éditions du Seuil, Paris, (tr. Moscardi A. 2017, *Che cos'è un dispositivo?*, Cronopio, Napoli).

Donn M. 2014, *BIM and the Pre-design Process: Modeling the Unknown*, in *Building Information Modeling. Bim in current and future practice*, Kensek K. M., Noble E. D., John Wiley & Sons, Hoboken.

Eastmann C., Teichilz P., Sacks R., Liston K. 2008, *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken.

Garber R. (a cura di) 2014, *Bim Design. Realising the creative potential of Building Information Modeling*, John Wiley & Sons, Chichester.

Hemsath T. 2014, *Energy Modeling in Conceptual Design*, in *Building Information Modeling. Bim in current and future practice*, Kensek K. M., Noble D. E., John Wiley, & Sons, Hoboken.

Holzer D. 2016, *The BIM Manager's Handbook. Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction*, John Wiley & Sons, Chichester.

Johnson B. S. 2012, *Future Perfect: The Case For Progress in a Networked Age*, Penguin Group, New York.

Kolarevic B. 2000, *Digital Morphogenesis and Computational Architectures*, in Ripper K. J., Pessoa B. A., Rodriguez Barros D. (a cura di) 2000, *Proceedings of the 4th Conference of Congreso Iberoamericano de Grafica Digital, SIGRADI 2000 - Construindo (n)o Espaço Digital (Constructing the Digital Space)*, Rio de Janeiro, pp. 98-103.

Kolarevic B. 2002, *Performance Base design*, «International Journal of Architectural Computing», vol. 02, pp. 43-50.

Krinshnamurti R., Toulkeridou V., Biswas T. 2014, *Communicating Semantics through Model Restructuring and Representation*, in *Building Information Modeling. Bim in current and future practice*, Kensek M. K., Noble E. D., John Wiley & Sons, Hoboken.

Levy F. 2012, *BIM in small scale sustainable design*, John Wiley & Sons, Hoboken.

MacLeamy P. 2004, «Effort/Effect Curve», in *Construction Users Roundtable's "Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation"*, «WP-1202», vol. 4.

Mahdavi A. 2003, *Self-organizing models for sentient buildings*, in *Advanced Building Simulation*, Malkawi A., Augenbroe G., Spon Press, New York, pp. 158-188.

Maldonado T. 1992, *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano.

Malkawi A., Augenbroe G (a cura di), De Wit S. 2003, *Uncertainty in building simulation*, in *Advanced Building Simulation*, Spon Press, New York, pp. 25-58.

Malkawi M. A. 2005, *Performance Simulation: Research and Tools*, in *Architecture Beyond Instrumentality*, Kolarevic B., Malkawi M. A., Spon Press, New York, pp.85-96[18] Marsh A., Performative design, <<http://drajmarsh.com/wiki/performative-design>> (05/16).

Saggio A. 2007, *La rivoluzione informatica*, Carroci, Roma.

Tiller P., L., and W. 1997, *The NURBS Book*, Springer, New York.

Van Nederveen G.A., Tolman F., *Modeling Multiple Views in Buildings*, «Automation in Construction», vol.1, pp. 215-224.

### STRATIGRAFIA STRUTTURALE

Strato di lamiera protettiva  
in lamiera in legno

Strato isolativo  
in lana di roccia

Strato ventilato  
in legno di legno

Strato esterno in legno di legno  
40mm

Strato di isolamento  
12 mm

Strato per parete  
ventilata

Strato in legno di legno  
140 mm

Strato in legno di legno  
60x140 mm

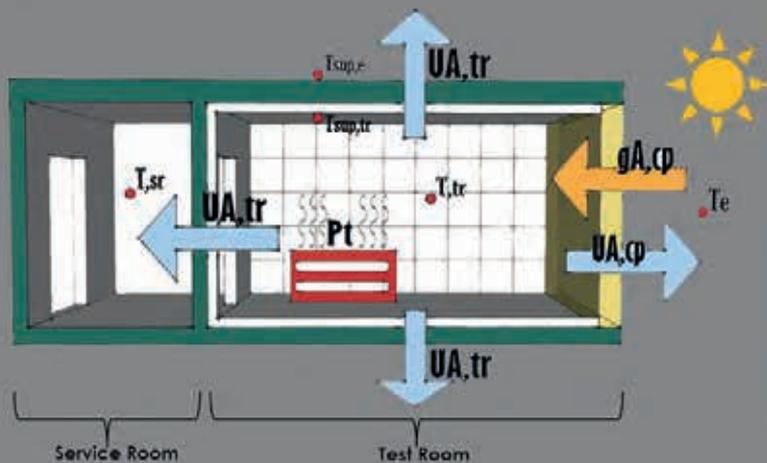
Strato di legno di legno  
170x220x140 mm

Strato PV 100



### FRAME SMONTABILE

Strato di lamiera protettiva  
in lamiera in legno





La ricerca e la sperimentazione, nel campo della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica, sono oggi i fattori chiave attraverso i quali attivare un processo di cambiamento strutturale verso un uso razionale delle risorse materiali ed energetiche. Risulta ormai chiaro come la forte pressione esercitata dalle tematiche relative agli aspetti ambientali ed energetici sia una diretta conseguenza della crisi economica, che ha investito tutte le economie dei Paesi occidentali a seguito della crisi petrolifera del 1979, e dell'emergenza ambientale dettata dai cambiamenti climatici che, negli ultimi anni, hanno prodotto effetti catastrofici in diverse aree del pianeta.

Il settore energetico riveste un ruolo strategico per la crescita economica di un Paese, sia rispetto all'esigenza di usufruire di energia a basso costo per favorire lo sviluppo economico dell'industria e delle imprese, sia rispetto alla necessità di ridurre l'impatto ambientale, diminuendo in modo significativo e prolungato le emissioni di gas a effetto serra, responsabili delle alterazioni del clima terrestre.

L'efficienza energetica è dunque destinata a svolgere un ruolo fondamentale nella transizione verso un nuovo modello di crescita sicuro e competitivo, ed è uno degli elementi fondanti della politica energetica europea per promuovere una crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva, secondo gli obiettivi strategici fissati da Europa 2020.

Negli ultimi anni, il forte impulso determinato dagli indirizzi e dalle politiche dell'UE ha attivato una serie di azioni specifiche in tema di efficienza energetica, affrontando il problema dello sviluppo dei Paesi dell'UE, nella sua dimensione economica e sociale, come un'occasione per migliorare la competitività e la ricerca, nonché per garantire una crescita basata su maggiore occupazione e produttività.

Dal 2008, anno in cui l'UE ha compiuto primo fondamentale passo verso tale direzione con l'adozione del 'Pacchetto Clima-Energia' (che stabiliva i target di risparmio energetico, in rapporto agli obiettivi 2020), sono stati registrati significativi miglioramenti sul fronte del risparmio energetico, grazie allo sviluppo di sistemi più efficienti nel campo dell'industria, dei trasporti e delle costruzioni. I dati rilevati per l'anno 2012 affermano che le emissioni di gas climalteranti sono diminuiti del 18% rispetto al 1990, si prevede inoltre un'ulteriore

diminuzione del 24% nel 2020 e del 32% nel 2030; la percentuale di energia finale consumata, rappresentata da energie rinnovabili, è arrivata al 13% e dovrebbe aumentare ulteriormente salendo al 21% nel 2020 e al 24% nel 2030.<sup>1</sup>

Azioni ulteriori, necessarie per la realizzazione degli obiettivi sempre più ambiziosi, prevedono una riduzione delle emissioni di gas serra dell'80% entro il 2050 (rispetto ai livelli del 1990), con un abbattimento per il settore elettrico di oltre il 95%, assegnando un'importanza strategica alla produzione da fonti rinnovabili.

Secondo le stime riportate dall'UE, il settore delle costruzioni è quello che presenta un potenziale di risparmio più elevato rispetto ad altri settori produttivi: il consumo energetico nel settore civile è responsabile di circa il 40% del consumo energetico totale per gli usi finali, del 36% delle emissioni totali di gas climalteranti nell'UE, infine, il 50% di materiali estratti sono trasformati in materiali e prodotti per la costruzione. Secondo quanto riportato dall'ENEA nel RAEE 2016<sup>2</sup>, tra il 2007 e il 2015 sono stati spesi 2,5 milioni di euro nella riqualificazione energetica del settore residenziale, a fronte di un investimento, da parte delle famiglie italiane, di quasi 28 miliardi (+12% in un anno). Una scelta orientata al green building, che sostiene una filiera da 50 mila posti di lavoro in media l'anno e che, nel periodo 2005-2015, ha permesso di risparmiare quasi 10 Mtep l'anno, evitando 26 milioni di tonnellate di emissioni di anidride carbonica e 3 miliardi di euro di spese per importare fonti fossili.

Anche il settore non residenziale, in cui sono compresi gli edifici adibiti ai servizi, al commercio e alla Pubblica Amministrazione, dopo una crescita costante negli ultimi venticinque anni (rallentata solo dalla crisi economica), nel 2014 ha registrato un calo dei consumi del 6,7%, attestandosi intorno a 19,2 Mtep. Nello stesso anno, i consumi finali dell'industria sono stati pari a 25,7 Mtep, in calo del 2,4% rispetto all'anno precedente, risultato raggiunto anche grazie al D.lgs. 102/2014<sup>3</sup>, di recepimento della Direttiva 2012/27/UE che ha introdotto l'obbligo di diagnosi energetica per le imprese, e in seguito al quale sono state presentate più di 10.823 diagnosi (delle quali il 45% provenienti da imprese del comparto manifatturiero).

In termini complessivi, questi dati mostrano un andamento positivo del quadro nazionale e in linea con il trend europeo per il raggiungimento degli obiettivi 2020: l'Italia ha raggiunto il 32% dell'obiettivo di risparmio fissato dal Piano Nazionale di Efficienza

<sup>1</sup> COM (2014) 15 final\_A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030.

<sup>2</sup> ENEA, RAEE 2016: Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2016, a cura dell'Unità Tecnica Efficienza Energetica dell'ENEA sulla base delle informazioni e dei dati disponibili al 10 giugno 2016.

<sup>3</sup> D.Lgs. 102/14 del 4 luglio 2014, n. 102. Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Energetica 2014, risultato reso possibile anche grazie al meccanismo delle detrazioni fiscali per le riqualificazioni energetiche e dei certificati bianchi.

In tale cornice, bisogna riconoscere il giusto merito alle politiche e alle strategie intraprese a livello nazionale e ai risultati ottenuti, che rappresentano chiari segnali di come l'efficienza energetica si stia trasformando da un mercato di nicchia, ad un segmento di mercato sempre più consolidato.

### **Il quadro normativo e legislativo in tema di efficienza energetica**

Con l'introduzione della Direttiva 2012/27/UE<sup>4</sup> sull'Efficienza Energetica, il Parlamento Europeo ha stabilito un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nei Paesi dell'UE, al fine di garantire il conseguimento degli obiettivi di risparmio energetico entro il 2020.

In Italia, il recepimento della Direttiva 2012/27/UE<sup>5</sup> avviene con il D.Lgs. 102/2014, nel quale vengono stabilite le misure da adottare per il raggiungimento degli obiettivi nazionali di risparmio energetico entro il 2020, e viene varato un Fondo Rotativo Nazionale per finanziare la riqualificazione degli edifici e per migliorare l'efficienza delle imprese energivore.

I punti essenziali su cui punta il decreto legislativo riguardano:

- Promozione dell'efficienza Energetica: nel pubblico, nell'industria, nel privato e nei trasporti;
- Aggiornamento periodico degli obiettivi nazionali di Efficienza Energetica;
- Regime obbligatorio di efficienza energetica;
- Obbligo delle Diagnosi Energetica e promozione dell'adozione di sistemi di gestione dell'energia ISO 5000;
- Formazione e informazione in tema di efficienza energetica.

Il provvedimento stabilisce un quadro di misure per la promozione ed il miglioramento dell'efficienza energetica; tali misure concorrono al conseguimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico di 20 Mtep, dei consumi di energia primaria, entro il 2020.

Coerentemente con il Decreto 102/2014, viene adottato il Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica 2014 (PAEE 2014), in cui si stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica, rafforzando gli strumenti già esistenti, introducendo nuove norme, finalizzate a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia, e a superare le carenze del mercato che frenano i settori più in difficoltà.

<sup>4</sup> Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25/10/2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

<sup>5</sup> DECRETO LEGISLATIVO 4 luglio 2014, n. 102. Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE, e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Con particolare riferimento al settore delle costruzioni, la Direttiva Europea 2010/31/CE<sup>6</sup>, denominata 'EPBD recast' (Energy Performance of Buildings Directive), ha dato un forte impulso per il miglioramento delle prestazioni energetiche del settore civile, da anni riconosciuto come uno dei settori a cui imputare i maggiori consumi negli usi finali di energia e delle maggiori emissioni di gas climalteranti.

Il problema è particolarmente sentito in Italia, notoriamente caratterizzata da un parco edilizio poco performante dal punto di vista energetico, se rapportato alla relativa mitezza del clima. La Direttiva ha così dato il via ad una serie di azioni e provvedimenti che, nel nostro Paese, si sono rivolte all'aggiornamento del quadro legislativo di riferimento e all'adeguamento delle relative norme tecniche. La Direttiva impone agli Stati membri l'adeguamento delle normative nazionali, alle direttive europee e impone altresì che a partire dal 2018, tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione dovranno soddisfare il requisito di Nearly Zero Energy Building: "edifici ad altissima prestazione energetica e fabbisogno energetico molto basso, quasi nullo, coperto in larga misura da fonti rinnovabili, compresa l'energia da rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"<sup>7</sup>.

Per gli edifici oggetto di riqualificazioni, dovranno essere soddisfatti risultati di massima efficienza energetica, in considerazione del fattore costo/beneficio mentre, dal 2020, tale obbligo sarà esteso a tutti i nuovi edifici pubblici e privati.

La nuova Direttiva sull'efficienza energetica degli edifici 2010/31/EU, rafforza l'obiettivo di riduzione dei consumi aprendo nuovi fronti sul risparmio energetico e puntando a una visione complessiva che interessa, sia edifici di nuova costruzione, sia il patrimonio edilizio esistente.

Con riferimento al contesto italiano, gli edifici di nuova costruzione incidono solo per circa l'1% annuo sul patrimonio edilizio nazionale, pertanto le strategie di efficientamento energetico si devono necessariamente focalizzare sul miglioramento delle condizioni energetiche del patrimonio esistente.

Il patrimonio immobiliare italiano ammonta a circa 13,6 milioni i fabbricati, l'87% dei quali ha destinazione residenziale; più del 60% degli edifici esistenti è antecedente al 1976, anno in cui fu emanata la prima legge sul risparmio energetico in edilizia. L'obsolescenza e il livello di decadimento prestazionale dipende solo in minima parte dall'età di costruzione degli edifici, il più infatti è causato da scarsa qualità dei materiali impiegati e da errori progettuali ed esecutivi; pertanto il patrimonio esistente rappresenta un am-

---

<sup>6</sup> Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia\_ EPBD recast.

<sup>7</sup> Cfr. "EPBD recast" 2010/31/EU.

bito di intervento di riqualificazione di significativo interesse e con rilevanti margini di miglioramento prestazionale e di sviluppo economico. Nel 2015, il settore delle costruzioni in Italia ha fatto registrare un valore della produzione pari a 165,5 miliardi di euro, dei quali 119 miliardi (72%), sono dovuti alla manutenzione ordinaria e straordinaria del patrimonio esistente. Di contro, le nuove costruzioni (con 42,7 miliardi di euro), scendono al 28,5% del valore della produzione. Alla crisi delle nuove costruzioni fa riscontro la crescita del mercato della manutenzione, attualmente di gran lunga il principale ambito di attività che sostiene il settore delle costruzioni.

Oggi, nonostante oltre il 50% del nostro patrimonio necessiti di interventi di manutenzione straordinaria, le criticità che occorre superare per operare a livello nazionale sono numerose, sia per la mancanza di un quadro normativo e legislativo organico, che per una scarsa conoscenza delle innovazioni già disponibili sul mercato: nuovi prodotti e materiali, componenti e soluzioni impiantistiche, destinate ad interventi il recupero e riqualificazione energetica edilizia. Un passo importante verso un l'incremento di edifici a energia quasi zero è stato compiuto di recente grazie alla pubblicazione delle disposizioni legislative nazionali contenute sulla Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.162 del 15 luglio 2015 – Suppl. Ordinario n. 39 –, in cui sono stati pubblicati i tre Decreti Ministeriali elaborati dal Ministero dello Sviluppo in attuazione alla Legge 90/13.<sup>8</sup>

La Legge 90/2013 rappresenta uno degli strumenti più importanti per l'adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni comunitarie. La Legge apporta modifiche sostanziali al D.Lgs. 192/2005<sup>9</sup> e formula una prima definizione di criteri e procedure per gli edifici a energia quasi zero (NZEB), introducendo una serie di novità in ordine alla metodologia di calcolo dell'indice di prestazione energetica degli edifici, aggiornata in riferimento alle Norme UNI TS 11300 (parti da 1 a 4), alla Raccomandazione 14 del Comitato Termotecnico Italiano (CTI), alla redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE), e alle detrazioni fiscali in caso di ristrutturazioni e interventi di riqualificazione energetica.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> L. 3708/2013, n.90, Conversione, con modificazioni, del D.L. 4/06/2013, n.63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19/05/2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.

<sup>9</sup> Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192–Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.(G.U. 23 settembre 2005, n. 222.

<sup>10</sup> Legge ordinaria del Parlamento n° 373 del 30/04/1976 Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. La legge imponeva limiti alla dispersione termica degli involucri per limitare i consumi energetici, ma la sua applicazione nell'edilizia fu scarsa se non addirittura assente a causa dei pochi controlli e della poca sensibilità sociale e dei costruttori nei confronti del problema.

## La diagnosi energetica e la certificazione energetica

Le trasformazioni e le novità introdotte dalle normative in atto in tema di efficienza energetica degli edifici, grazie anche al determinante impulso dell'UE, indirizzano le politiche nazionali e regionali verso l'individuazione di azioni specifiche a sostegno di una crescita basata su una maggiore occupazione e produttività; tale è intesa come occasione per migliorare la competitività e la ricerca, rimarcando anche il ruolo dell'efficienza energetica come strumento per il raggiungimento dell'obiettivo più ambizioso del 20%, al 2020. In questo scenario, le opportunità di sviluppo che si aprono per i professionisti del settore vanno ricercate nella capacità di innescare una profonda trasformazione urbana strutturale, supportata da strumenti operativi chiari e caratterizzati da una concreta uniformità e trasparenza a livello legislativo, al fine di promuovere valide politiche di efficienza energetica.

Gli strumenti essenziali, attualmente a disposizione dei professionisti del settore energetico per il raggiungimento degli obiettivi suddetti, sono la diagnosi e la certificazione energetica.

Sebbene i due strumenti vengano spesso confusi, poiché entrambi forniscono, nella determinazione delle prestazioni energetiche globali dell'edificio, un'indicazione a partire da un'analisi sullo stato di fatto (estesa a tutti i componenti edilizi e impiantistici dell'edificio), in realtà presentano notevoli differenze nell'approccio metodologico complessivo, nelle competenze tecniche e nelle risorse richieste alla conduzione dell'analisi.

La certificazione energetica ha il solo scopo di comunicare la qualità energetica dell'edificio, assegnando una classe energetica all'edificio in base al valore calcolato per l'indicatore EP<sub>gl,nren</sub> (indice di prestazione energetica globale non rinnovabile)<sup>11</sup> che si determina come somma dei singoli servizi energetici effettivamente presenti nell'edificio in esame. Nella valutazione delle prestazioni e degli indicatori ad esse associati, il calcolo viene effettuato in condizioni normalizzate, ovvero si adottano una serie di assunzioni immaginando un uso standard dell'edificio, a garanzia della riproducibilità dei risultati. In queste condizioni, il risultato ottenuto mediante una certificazione energetica può discostarsi da quello reale poiché non tiene in considerazione della variabilità delle condizioni climatiche esterne, della reale programmazione oraria degli impianti e degli effettivi profili di utenza.

La diagnosi energetica si pone obiettivi diversi dalla certificazione, primo tra tutti quello

<sup>11</sup> L'indice EP<sub>gl,nren</sub> tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva (EPH<sub>nren</sub> ed EPC<sub>nren</sub>), per la produzione di acqua calda sanitaria (EPW<sub>nren</sub>), per la ventilazione (EPV<sub>nren</sub>) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale (EPL<sub>nren</sub>) e il trasporto di persone o cose (EPT<sub>nren</sub>).

di individuare le principali cause di spreco nel sistema edificio-impianto, al fine di proporre le soluzioni di risparmio energetico più efficaci per ridurre i consumi negli usi finali, valutando la fattibilità tecnica ed economica delle azioni di risparmio proposte, in un'ottica di analisi costi-benefici.

Il D.Lgs. n. 102 del 4 luglio 2014, attuativo della Direttiva 2012/27/UE, ha introdotto un regime obbligatorio di diagnosi energetica a partire dal 5 Dicembre 2015 con cadenza quadriennale, per tutte le imprese a forte consumo di energia nelle loro sedi produttive italiane<sup>12</sup>.

Tale obbligo non si applica però alle grandi imprese che già adottano un sistema di gestione conforme alla norma ISO 50001:2011 (Sistema di Gestione dell'Energia), oppure alla norma ISO 14001:2004 (Sistema di Gestione Ambientale), purché al suo interno sia incluso un audit energetico realizzato secondo i requisiti indicati nell'allegato 2 del Decreto. Per il settore produttivo, l'obiettivo è di stimolare le imprese ad adottare un approccio sistematico in un'ottica di miglioramento continuo, che abbia ricadute positive sia in termini ambientali ed energetici, che in termini di produttività e gestione delle risorse.

Secondo quanto disposto dal D.Lgs. n. 115/2008<sup>13</sup>, l'obbligo di effettuare una diagnosi energetica sussiste anche per edifici pubblici (o ad uso pubblico), in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici, o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato.

Per gli edifici residenziali il Decreto Requisiti Minimi (D.M. 26 giugno 2015)<sup>14</sup>, attuativo della Legge n. 90/2013, prevede l'obbligo di diagnosi energetica negli edifici, specificando anche le situazioni progettuali possibili da mettere a confronto: nel caso in cui sia redatta la diagnosi energetica di un edificio da ristrutturare o di nuovi impianti termici (con potenza termica nominale del generatore maggiore di 100 kW), compreso il distacco dall'impianto centralizzato. Secondo il decreto della legge, colori i quali possono eseguire una diagnosi energetica valida, per imprese grandi e/o energivore, sono solo i soggetti certificati da par-

---

<sup>12</sup> La grande impresa è quella che occupa almeno duecentocinquanta persone, ovvero l'impresa che, pur occupando un numero minore a duecentocinquanta persone, presenti un fatturato annuo superiore a cinquanta milioni di euro e un totale di bilancio annuo superiore a quarantatre milioni di euro. Le imprese a forte consumo di energia (o energivore) soggette all'obbligo di diagnosi energetica, sono le imprese iscritte nell'elenco annuale istituito presso la Cassa Conguaglio per il settore elettrico ai sensi del D.M. del 5 aprile 2013 che qualifica un'impresa 'energivora' se nell'arco dell'anno realizza un consumo di energia elettrica o di energia diversa dalla elettrica > 2,4 GWh, ovvero il costo complessivo della energia sia  $\geq$  3% del fatturato.

<sup>13</sup> DECRETO LEGISLATIVO 30 maggio 2008, n. 115 Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

<sup>14</sup> DM 26/06/15 Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. DM 26/06/15 – Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. DM 26/06/15 – Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

te di organismi accreditati: E.S.Co (Energy Service Company – UNI CEI 11352), EGE (Esperto in gestione dell'energia – UNI CEI 11339), e Auditor energetici (UNI CEI EN 16247-5).

Una diagnosi energetica, per essere definita valida, deve condurre in conformità i criteri minimi per gli audit energetici<sup>15</sup>, riportati all'Allegato 2 del D.Lgs. 102/2014<sup>16</sup>; tale prescrizione risulta sicuramente rispettata se la diagnosi viene effettuata secondo i criteri illustrati nella norma tecnica UNI CEI EN 16247 parti da 1 a 4.

La diagnosi energetica si pone i seguenti obiettivi:

- Valutare i consumi dell'immobile;
- Definire gli interventi di riqualificazione energetica, valutando le convenienze economiche ed i 'ritorni dell'investimento';
- Analizzare ed ottimizzare le spese di gestione dell'immobile.

L'approccio metodologico richiesto nella diagnosi energetica si basa su un'indagine approfondita e sistematica del comportamento reale dell'edificio, attraverso un'analisi puntuale dei dati storici di consumo ricavati dalle fatture energetiche, dei profili di utenza specifici, delle tecnologie impiantistiche a servizio dell'edificio, al fine di predisporre un modello energetico termico ed elettrico che riassume la tipologia di utenza, delle potenze installate e dei profili di utilizzazione e delle ore di funzionamento degli impianti. Il fine è quello di effettuare un bilancio energetico del sistema edificio-impianto puntuale sui consumi specifici, sulle criticità e sugli interventi da considerare.

I criteri di valutazione delle prestazioni energetiche, indicate dalla normativa tecnica nel caso di edifici, sono riconducibili a due tipologie:

- calcolo in condizioni standard (asset rating), dove i dati di ingresso relativi alle modalità d'uso e alle condizioni climatiche di riferimento sono di tipo normalizzato;
- calcolo in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating), dove i dati di ingresso sono definiti in funzione dello scopo dell'indagine energetica.

In definitiva, la diagnosi energetica differisce in modo sostanziale dalla certificazione

---

<sup>15</sup> I termini audit energetico e di diagnosi energetica sono da considerarsi sinonimi.

<sup>16</sup> Il criteri minimi di una diagnosi energetica:

- a) sono basati su dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e (per l'energia elettrica) sui profili di carico;
- b) comprendono un esame dettagliato del profilo di consumo energetico di edifici o di gruppi di edifici, di attività o impianti industriali, ivi compreso il trasporto;
- c) ove possibile, si basano sull'analisi del costo del ciclo di vita, invece che su semplici periodi di ammortamento, in modo da tener conto dei risparmi a lungo termine, dei valori residuali degli investimenti a lungo termine e dei tassi di sconto;
- d) sono proporzionati e sufficientemente rappresentativi per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale e di individuare in modo affidabile le opportunità di miglioramento più significative.

energetica, poiché il calcolo viene adattato all'utenza in condizioni d'esercizio e non in condizioni standard.

L'APE, viene redatto al solo scopo di determinare la classe energetica da attribuire all'edificio in esame, in funzione dei consumi annuali espressi in kWh/mq, calcolati in base alle prestazioni dell'involucro edilizio e in rapporto al rendimento d'impianto della unità immobiliare. Il calcolo viene eseguito secondo la norma UNI TS 11300, assumendo un valore di temperatura interna costante di 20° e presupponendo che l'impianto sia in funzione 24h al giorno, per tutta la stagione di riscaldamento. Anche per la valutazione degli apporti termici interni si fa riferimento a valori di tipo normalizzato, in funzione della destinazione d'uso dell'edificio, senza tenere in considerazione i reali profili di occupazione dell'edificio. Nel caso della diagnosi energetica, il calcolo viene eseguito considerando le reali condizioni di esercizio dell'edificio, utilizzando dati di input reali rispetto: all'uso degli impianti, ai profili di occupazione effettivi e ai dati climatici aggiornati della località in cui si trova l'immobile.

Una volta verificata la possibilità di poter ottenere una diminuzione sostanziale dei fabbisogni energetici dell'edificio, si procede alla simulazione degli interventi, ipotizzandone la realizzazione a livello di involucro, di impianti termici, di impianto di illuminazione e di impianti di produzione da fonti rinnovabili. Al termine dell'analisi, le valutazioni non sono limitate alle singole azioni, ma propongono possibili interventi integrati su più sistemi, in modo da evidenziare eventuali svantaggi o sinergie date dall'accoppiamento di più strategie. <>

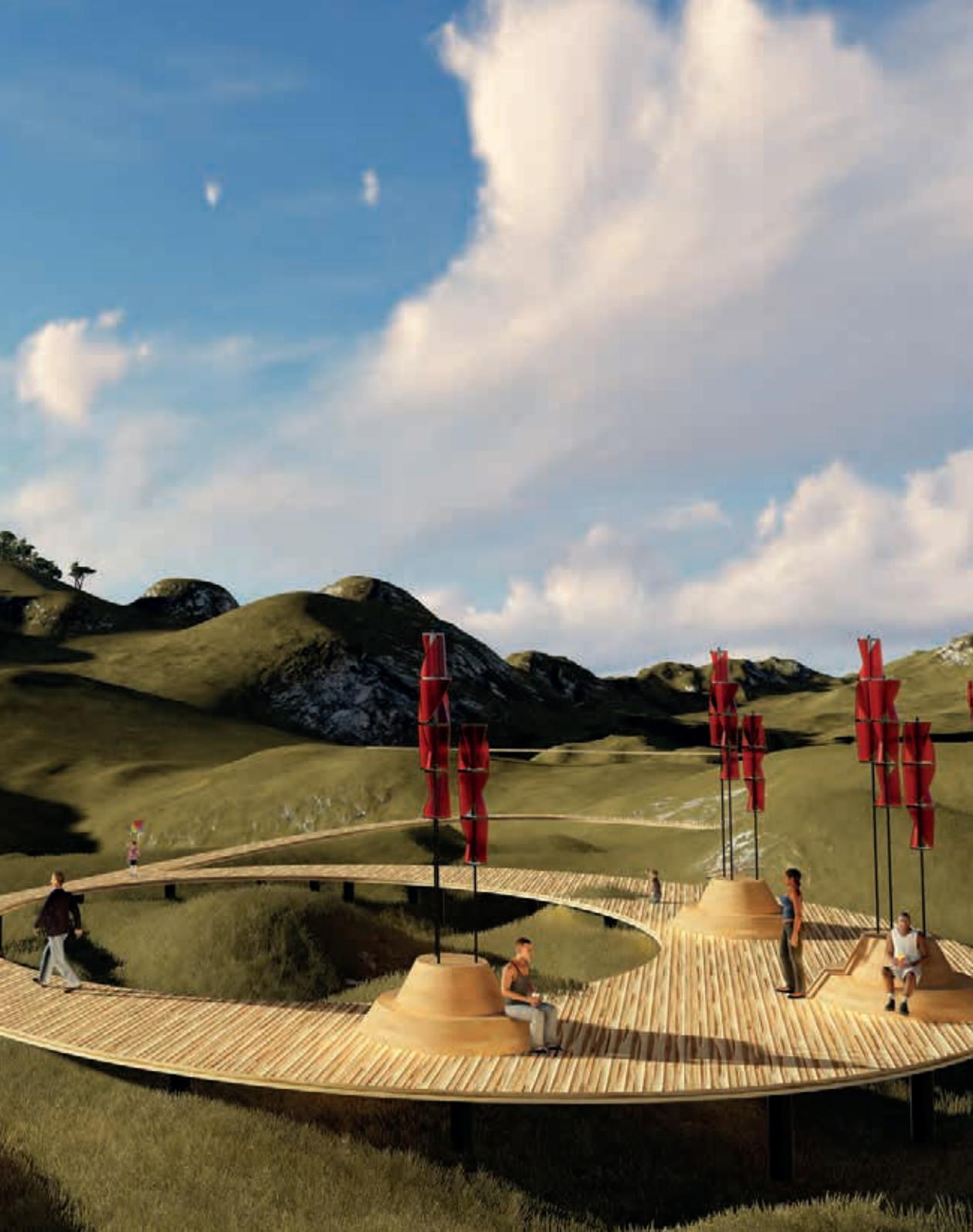
## **Bibliografia**

Dall'Ò G. 2011, *Green Energy Audit. Manuale operativo per la diagnosi energetica e ambientale degli edifici*, Edizioni Ambiente, Milano.

Lauria M., Trombetta C. 2016, *Building Future Lab. Ricerca sperimentale per la Sostenibilità nel Settore delle Costruzioni*, Maggioli Editore, Rimini.

Sala M. 2004, *I percorsi della progettazione per la sostenibilità ambientale*, Alinea editrice, Firenze.

ENEA, RAEE 2016: Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2016, a cura dell'Unità Tecnica Efficienza Energetica dell'ENEA, Roma.



---

## GREEN DESIGN ED ECO EFFICIENZA PER UN TURISMO SOSTENIBILE NEL MEDITERRANEO: ESPERIENZE DI PROGETTO SULL' ISOLA DEL GIGLIO E ASINARA

---



Simulazione  
dell'integrazione  
paesaggistica  
dei moduli mini  
eolici sull'isola  
del Giglio

**Antonella Trombadore**  
Centro Interuniversitario ABITA  
Università degli Studi di Firenze

Le isole minori rappresentano degli ambiti territoriali con particolarità ambientali, sociali ed economiche: per la loro specificità, per l'elevata qualità e vulnerabilità ambientale e per le pressioni alle quali sono sottoposte da parte del turismo, rappresentano le destinazioni ideali per lo sviluppo di politiche ispirate alla sostenibilità. L'approvvigionamento idrico ed energetico, la gestione dei rifiuti, la gestione delle risorse naturali, il sistema di trasporti e i collegamenti con la terraferma, la difficoltà di fare sistema con altre realtà turistiche similari: tutto è reso più critico dalla condizione specifica dell'Isola minore.

La gestione sostenibile delle risorse naturali, e soprattutto un approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili, è un tema cardine che accomuna tutte le isole minori: la connessione con la rete elettrica nazionale è spesso carente, se non addirittura inesistente; il picco di fabbisogno nei mesi estivi impone una riflessione sui criteri da seguire per una pianificazione energetica intelligente, orientata ad un approccio di Smart Grid/Smart Island.

Le piccole isole del Mediterraneo sono uno scenario privilegiato in cui sviluppare infrastrutture verdi, pensate come una rete strategicamente pianificata di aree naturali e semi-naturali con altre caratteristiche ambientali, progettate e gestite per offrire una vasta gamma di servizi ecosistemici quali la purificazione dell'acqua, la qualità dell'aria, lo spazio per la ricreazione e la mitigazione e l'adattamento climatico.

Questa rete di spazi verdi, la terra, e blu, l'acqua, può migliorare le condizioni ambientali, quindi la salute dei cittadini e la qualità della vita. Sostiene anche un'economia verde, crea opportunità di lavoro e migliora la biodiversità. La rete Natura 2000, presente nelle piccole isole, costituisce la spina dorsale dell'infrastruttura verde dell'UE.

La pianificazione dell'infrastruttura verde è uno strumento testato con successo per fornire vantaggi ambientali, economici e sociali attraverso soluzioni naturali e contribuisce a ridurre la dipendenza dalle infrastrutture 'grigie', spesso più costose da costruire e mantenere in contesti così fragili.

La Commissione Europea ha sviluppato una strategia per la diffusione sul territorio di green infrastrutture; tale mira a garantire la protezione, il ripristino, la creazione e la valorizzazione



⬆  
**Esempio di patrimonio naturalistico e architettonico presenti nelle piccole isole.**  
 Aliculi,  
 Arcipelago delle Isole Eolie

*pagina a fronte*  
**Esempio di patrimonio naturalistico e architettonico presenti nelle piccole isole,**  
 Isola del Giglio,  
 Arcipelago  
 Toscano

*sotto*  
**Vista del borgo di Cala d'Oliva**  
 Isola dell'Asinara

dell'infrastruttura verde affinché questa diventi parte integrante della pianificazione e dello sviluppo territoriale.<sup>1</sup>

Da anni, sta maturando l'idea di impegnare le piccole isole in un ampio processo di decarbonizzazione dell'economia isolana, operando non solo sul piano energetico, ma anche sulla gestione sostenibile dell'edilizia, della mobilità, dei rifiuti, dell'acqua, dell'agricoltura, della pesca e delle attività portuali. Asinara e Capraia ad esempio, sono alle ricerca di un equilibrio tra le attività antropiche e il territorio, con l'obiettivo ambizioso di diventare un laboratorio di economia circolare, un modello virtuoso replicabile, sia sulle isole minori del Mediterraneo, che su scala globale.

Il Dipartimento DIDA, e in particolare il Centro ABITA, sono coinvolti da tempo in attività di ricerca e sperimentazione di soluzioni integrate per la valorizzazione dei territori costieri, in chiave di sostenibilità ambientale, sviluppando progetti di cooperazione internazionale che vedono coinvolte le amministrazioni locali e le istituzioni regionali. E' importante perseguire un equilibrio dinamico tra patrimonio naturale e fruizione antropica, compatibile non solo da un punto di vista ecologico, economico e sociale, ma accompagnata da una gestione delle risorse intelligente.

Per l'identificazione delle strategie di intervento, l'approccio adottato ha puntato

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm)



all'integrazione di una serie di interventi possibili, che vanno dal campo dell'efficienza energetica, alla gestione intelligente dei rifiuti e all'organizzazione della mobilità. Le soluzioni progettuali puntano allo sviluppo del design di sistemi tecnologici innovativi, capaci di integrare l'esigenza di produrre di energia elettrica e raccogliere dell'acqua piovana, rappresentando dei land-mark territoriali, offrendo ombreggiamento di aree di sosta, diventando punti informativi e di ricarica di bici elettriche.

L'obiettivo è quello della totale integrazione nell'ambiente circostante, con il minor impatto possibile e la totale possibilità di smontaggio, rimozione e reversibilità futura degli stessi in altri contesti. I sistemi di produzione energetica sono integrati ai percorsi pedonali, pensati come strutture leggere sopraelevate al terreno, fissate in maniera puntiforme con pilastri in acciaio e ricoperte di assi di legno, trattate per una minore manutenzione futura. Integrati ad essi, ci saranno inoltre punti di sosta attrezzati, attualmente inesistenti, anch'essi di

*pagina a fronte*  
**Prospetto  
e sezione  
dell'Albero  
solare**

*a destra*  
**Combinazioni  
planimetriche  
dell'Albero  
solare**

pochissimo impatto ambientale ma di altissima necessità, data la considerevole lunghezza delle aree non battute da strada carrabile. Queste soste serviranno da punto info, zona ombreggiata con sedute, e ricarica elettrica; saranno completamente ad impatto energetico zero perchè alimentati da una serie di moduli fotovoltaici, o eolici, progettati per avere le seguenti caratteristiche:

1. Componibilità, flessibilità, modularità, reversibilità;
2. Ottimizzazione dell'installazione a secco;
3. Predisposizione per integrazione di moduli e incremento di potenza.

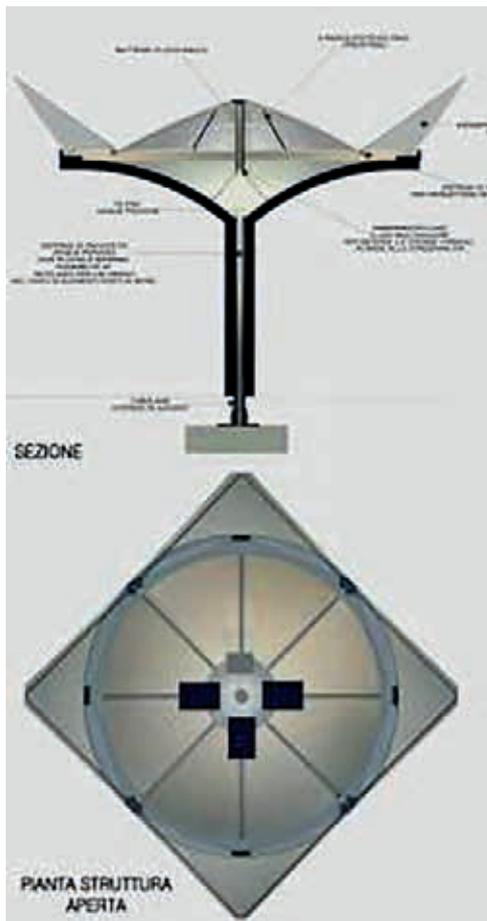
Sull'isola dell'Asinara, la rete di distribuzione dell'energia elettrica si presenta in buone condizioni: l'elettricità è fornita all'Isola attraverso un cavo subacqueo lungo circa 4 km, che prosegue lungo la strada principale, estendendosi lungo tutta l'isola.

Il piano delle green infrastructures proposto prevede il ripristino e il recupero di alcune infrastrutture – attive durante il periodo 'isola carcere' – attualmente in disuso, e l'inserimento di alcune strutture per la produzione di energia da fonti rinnovabili, come ulteriori soluzioni per il risparmio energetico ed l'efficientamento degli edifici esistenti.

Si prevede, in primo luogo, l'integrazione architettonica di celle fotovoltaiche trasparenti e semi-trasparenti (o amorfe), negli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti, il potenziamento della rete energetica negli arredi urbani e altri tipi di strutture di ombreggiamento, puntando su un'alta qualità estetica delle soluzioni proposte, offrendo un risultato ottimale senza alterare la trama del paesaggio sull'Isola. Ulteriori esempi di piccole strutture, dove pensare all'integrazione di sistemi fotovoltaici, sono le pensiline per le informazioni e per la ricarica di bici elettriche, o ancora le panchine, l'illuminazione pubblica, ecc.

Inoltre, uno studio del microclima e in particolare dei venti, ha individuato una serie di zone lungo l'isola dove sarebbe possibile realizzare impianti mini o micro-eolici, capaci di convertire energia del vento in energia elettrica. Tuttavia, in alcune stagioni, l'inserimento di questi elementi potrebbe rappresentare un rischio e un'alterazione dei corridoi degli uccelli migratori.

In queste pagine viene presentata l'esperienza sviluppata in occasione del seminario Green Infrastructures for responsible tourism, che ha generato successivi approfondimenti di tesi di laurea sul tema della valorizzazione della fruizione in territori fragili: Santa Maria Green InFarmStructure di Dusal Rolovic, Euforbia Lab as Mediterranean Phitorerapic Center di Valentina Tavanti e Federica Bertini su territori particolarmente fragili come l'Isola dell'Asinara e l'Isola del Giglio. Queste hanno in comune l'obiettivo di riconnettere con le infrastrutture il territorio, per una fruizione sostenibile e maggiormente consapevole.



## L' albero solare<sup>2</sup>

Nel porsi il problema di come gestire gli ampi spazi interni, senza troppo disturbare l'equilibrio esistente, si è manifestata l'esigenza di garantire ombra, riparo dalla pioggia e illuminazione notturna.

E' innegabile quanto un ambiente come quello dell'Asinara inviti a vivere la vita all'aperto, in libertà, e perché no, sacrificando anche qualche comodità; rimane comunque compito dell'architetto offrire opportunità di comfort e lasciare poi all'utente/committente la decisione ultima di sfruttarlo o meno. L'elaborazione di un sistema tecnologico modulare, mobile e quindi componibile, risponde a questa esigenza di comfort, riuscendo, però, ad adattarsi liberamente a diverse necessità, usi e inserimenti. L'ispirazione nasce dall'isola stessa, dal

<sup>2</sup> L'idea dell'Albero solare è stata sviluppata da Valentina Tavanti nell'ambito della sua tesi di laurea EU4BIA\_LAB: rivitalizzazione dell'ex-stazione sanitaria come centro mediterraneo di Fitocosmesi all'Asinara. AA2015-16.

*pagina a fronte*  
**Simulazione  
 dell'integrazione  
 paesaggistica  
 dei moduli mini  
 eolici sull'isola  
 del Giglio**

*sotto*  
**Proposta di  
 'integrazione  
 dei moduli  
 mini eolici  
 sui percorsi  
 pedonali**

manto arbustivo endemico che cresce spontaneo in questi luoghi: l'Euphorbia. Il dispositivo si compone di una struttura ramificata in alluminio leggero che sorregge, proprio come un fiore, un bocciolo fotovoltaico che, al momento dell'apertura dei petali, entra in funzione.

La corolla è composta da una membrana impermeabile traslucida, adatta al passaggio della luce per illuminare, durante le ore notturne, l'interno del fiore.

I tre pannelli fotovoltaici (con dimensioni 483x345x25 mm, peso di 190 grammi e potenza Massima di Picco 30 kWp), collegati ad una batteria disposta in quota sul lato ombreggiato del tronco, alimentano il meccanismo di chiusura e apertura automatizzato, e la luce al led posta centralmente.

Ogni modulo è inoltre dotato di pluviale e di un sistema di raccolta delle acque meteoriche al fine di permettere, una volta collegato in serie e predisposti gli opportuni pozzetti di ispezione, di creare una copertura continua, capace di riciclare per fini irrigui o sanitari le acque in caduta.

Questo albero modulare viene pensato in due condizioni principali: come sistema separato di illuminazione e ombreggiamento a bordo piscina, lungo i percorsi principali, nella zona vicino il pontile, o come sistema continuo di copertura per l'allestimento di spazi esterni adibiti alla ristorazione ed eventi.

### **CanoPV<sup>3</sup>**

L'idea per CanoPV+ nasce dal bisogno di creare un modulo componibile, che possa essere usato per creare spazi semicoperti nell'area del verde pubblico intorno alla ex diramazione carceraria di Santa Maria, riconvertita in Agri Lab, fattoria didattica con strutture ricettive di turismo sostenibile.

Dalle fasi iniziali del progetto, si è chiarita la volontà di trattare in un modo particolare la TasteZone, zona del verde pubblico tra il volume dei Silos e blocchi del laboratori.

Da qui parte la necessità di creare dei spazi pubblici polifunzionali, che potrebbero servire come zone di sosta, spazi per eventi di vario tipo, luogo di ritrovo e spazi per l'integrazione sociale, nonché come luoghi per tour di degustazione dei tipici prodotti della fattoria. Questi spazi potrebbero altresì essere utilizzati per spettacoli, e possono essere collegati in vari modi con la struttura dei silos, dando così un'estensione e una connessione ulteriore alla zona.

<sup>3</sup> Il progetto del CanoPV è stato sviluppato da Dusan Rolovic nell'ambito della sua tesi di laurea ASINARA GREEN IN-FARM-STRUCTURE Soluzioni ecocompatibili per la rivitalizzazione dell'ex diramazione carceraria Santa Maria come laboratorio internazionale per il turismo consapevole AA2015-16.



*pagina a fronte*  
**Vista del Faro di Vaccarecce con l'ipotesi di integrazione dei moduli mini-eolici**

Una volta definito il ruolo, si prosegue definendo e disegnando una rete di pedane in WPC, connesse da sentieri di forma organica. Da qui parte il progetto per creare una copertura creata da singoli moduli, altezze e dimensioni variabili.

Il concetto di base, per quanto riguarda la forma dei moduli, è stato quello di un petalo, la cui combinazione con le più semplici forme geometriche (triangolo, quadrato, esagono), ha prodotto le tre variazioni di configurazione. Sono state definite forme organiche, richiamanti la flora, con l'idea finale di integrare questo modulo nel paesaggio circostante. Da questo desiderio di realizzare un elemento con una forte forma geometrica, e insieme organica e assimilabile alle forme naturali che lo circondano, nasce il CanoPV+.

I 3 moduli variano non solo in forma ma anche di superficie PV: il modulo 'base' più piccolo, di forma triangolare, ha una lunghezza massima di circa 3 metri; il modulo quadrato ha un raggio di circa 4 metri e infine al modulo più grande, esagonale, ha una lunghezza massima di circa 6 metri. In base all'area di queste superfici, mantenendo una proporzione, sono state definite le altezze dei singoli moduli. Il modulo triangolare ha un'altezza di circa 4.5 metri, quello rettangolare 5.5 metri, e quello esagonale di circa 6.75 metri.

In questo modo si rende possibile creare un ombreggiamento continuo permettendo lo svolgimento di varie funzioni al di sotto della copertura. Inoltre, le variate altezze favoriscono un flusso d'aria maggiore, creando così una ventilazione naturale nei momenti di picco dell'irraggiamento solare.

I moduli, leggermente inclinati, favoriscono lo scorrimento dell'acqua piovana con una minore manutenzione, e ottimizzano il rendimento energetico. Per quanto riguarda la struttura, i moduli sono caratterizzati da un corpo in acciaio, con un elemento verticale curvilineo per ogni lato del modulo. Il modulo triangolare presenta 3 rami di acciaio tubolare, il modulo quadrato 4 rami, mentre quello esagonale 6 rami che sostengono la copertura. Questi elementi sono collegati a fasci nella parte verticale e rivestiti esternamente, creando quindi un'unica struttura esterna circolare, all'interno della quale possono essere convogliati degli impianti per la raccolta dell'acqua piovana, per l'illuminazione nonché per impianti audio. Queste soluzioni permettono quindi di integrare all'interno della struttura gli aspetti impiantistici, creando un ambiente atto ad offrire tutte le condizioni necessari per svolgimento di svariati eventi.



#### **Micro-eolico nel faro delle Vaccarecce al Giglio<sup>4</sup>**

Il dismesso faro delle Vaccarecce, noto anche come faro antico del Giglio, si trova ubicato nel mar Tirreno, nella parte settentrionale dell'isola del Giglio, nell'omonimo territorio comunale, su un promontorio a nord dell'abitato di Giglio Castello. Il complesso architettonico è costituito da una torre a sezione ottagonale in muratura, che si eleva al di sopra della parte centrale di un fabbricato a pianta rettangolare, anch'esso in muratura, disposto su tre livelli; la struttura turriforme, con galleria interna, culmina con una terrazza sommitale che costituiva la base del tiburio della lanterna non più presente.

Il progetto di rivitalizzazione punta quindi alla riqualificazione architettonica, al

---

<sup>4</sup> L'idea del modulo eolico componibile è stata sviluppata da Federica Bertini nell'ambito della sua tesi di laurea. Una luce GREEN per l'isola del Giglio: Progetto di riqualificazione del Faro delle Vaccarecce e realizzazione di cantina vinicola in chiave eco-sostenibile. AA 2016-17.

mantenimento dell'identità tipologica, al recupero della lanterna come land-mark territoriale e al potenziamento della sua vivibilità per tutto l'arco dell'anno, con un approccio di eco-sostenibilità e turismo responsabile. Una grande sfida progettuale e tecnologica è rappresentata dal recupero della antica lanterna, non più esistente, in chiave moderna, inserendo dei moduli eolici progettati per sfruttare al massimo la superficie a disposizione, puntando alla autonomia energetica dell'intero complesso.

La struttura esterna del Faro quindi rimarrà per lo più la medesima, e le funzioni che verranno inserite sono quelle di alloggi, ai piani superiori, mentre al piano terreno, di ristorante e di ingresso museale alla Cantina progettata. Annessa al faro, è stata pensata una Serra bioclimatica che servirà da anello di giunzione, da ambiente tramite il quale il visitatore inizierà il suo percorso nella Cantina. I moduli mini-eolici sono composti da un asse verticale, hanno una potenza di accumulo che varia dai 400W ai 500W e sono di due diverse tipologie, l'uno la scala dell'altro: mentre il più piccolo ha il diametro minore pari a 50 cm e quello maggiore pari a 60 cm, il più grande ha il diametro minore di 60 cm e quello maggiore di 70.

La compatibilità nelle misure è stata pensata sia affinché la composizione in fila dei diversi moduli non sia mai ripetitiva, che per un impatto visivo movimentato e mai statico. Il progetto originale della suddetta lanterna ci è giunto solo tramite un vecchio disegno, il quale è servito da base per lo sviluppo del nuovo progetto. Infatti, grazie al vecchio disegno, sono state riprese le dimensioni e le proporzioni tra struttura portante e copertura a cupola della lanterna. Le modifiche apportate girano tutte attorno ad una concezione Green di recupero; ovvero allo sfruttamento delle risorse naturali per reintrodurre un pilastro storico del faro.

La soluzione adottata quindi è stata quella dell'inserimento dei moduli eolici componibili nella parte strutturale. Questi sono stati inseriti nelle zone di sosta dei percorsi tematici lungo tutta l'isola e sono stati progettati con due diverse dimensioni, facilitanti lo sfruttamento massimo della superficie, dal momento che possono combinarsi tra di loro e, come effetto ottico dall'esterno, danno l'idea di movimento e leggerezza. TT

Dato l'inserimento di funzione eolica nella struttura portante, il passaggio d'aria era obbligato, quindi la parte vetrata della lanterna, con annessa luce, è stata slittata all'interno della cupola, pensata in plexiglass per rispettare i giusti valori di illuminazione dei fari. A sostegno della cupola, e come struttura aggiuntiva alla ghiera eolica, è stata introdotta una colonna cava di metallo al centro dell'intera struttura, la quale si attacca alla muratura esistente e contiene i cavi elettrici della lampada del faro.

## **Bibliografia**

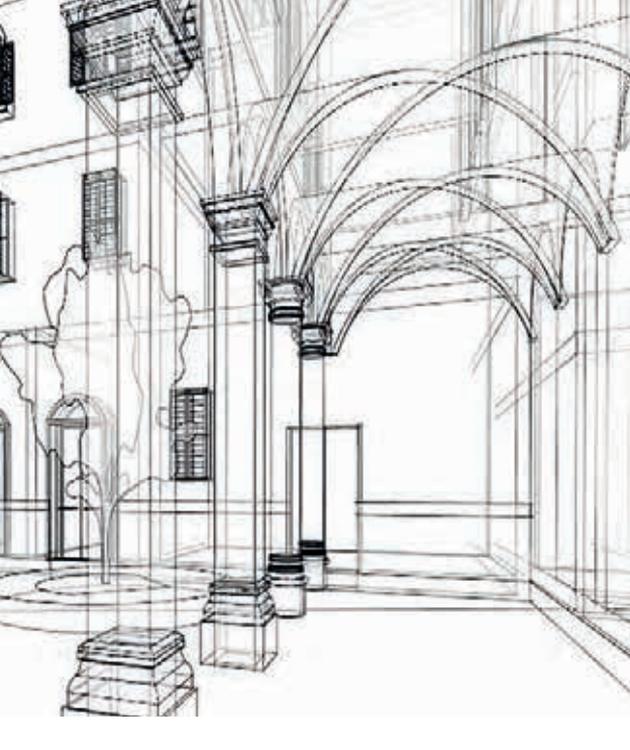
AD NETT, *The European Anaerobic Digestion Network*, <<http://www.adnett.org>>.

ARUP 2014, *Cities Alive – Rethinking Green Infrastructures*, Foresight.

Manuale Alcotra 2013, *La creazione di Living Lab transfrontalieri*, <<http://www.alcotra-innovazione.eu>> (07/2013).

Parco Nazionale Dell'Asinara, Piano del Parco, Relazione Generale, <<http://www.parcoasinara.org>>.

Trombadore A. 2015, *Mediterranean Smart Cities*, Edizioni Altralinea, Firenze.



**Lucia Ceccherini Nelli  
Giada Gallo Afflitto**

Centro Interuniversitario ABITA  
Università degli Studi di Firenze



*sopra a sinistra*  
**Restituzione  
tridimensionale  
del complesso  
architettonico  
Pio X  
Artigianelli  
(Firenze),  
attraverso Bim  
Revit**

Le problematiche energetiche e il concetto di sostenibilità, applicato alle trasformazioni progettuali pensate in diverse scale, richiedono nuovi strumenti di conoscenza e di analisi, che devono integrarsi con le tradizionali competenze dell'architetto.

*sopra a destra*  
**Elaborazione  
tridimensionale  
di un  
componente  
di facciata  
ventilata  
intelligente**

L'esigenza di sostenibilità ambientale, gestione energetica degli edifici, elevata qualità dei processi di pianificazione, gestione del territorio e realizzazione delle opere, in base a criteri di eco-compatibilità ambientale, necessita di menti preparate e aperte a 360°. Riuscire in un compito così arduo è una necessità alla quale non si possono sottrarre né i progettisti, né le amministrazioni pubbliche, chiamate a svolgere un ruolo chiave nel processo rigenerativo.

*sotto a sinistra*  
**Composizione  
architettonica,  
in notturno,  
di pannelli ISC  
con loghi delle  
facoltà**

Pensare 'NZeb' significa interessare tutte le fasi del processo di progettazione per la trasformazione dell'ambiente naturale e costruito, alle varie scale di intervento: da quella territoriale a quella urbana e di quartiere, via via scendendo fino all'edificio, all'ambito normativo e gestionale, agli impianti, e persino al componente edilizio, al singolo materiale da costruzione e al suo processo di creazione.

*sotto a destra*  
**In basso a  
destra  
Vista prospettica  
di un luogo di  
aggregazione  
del complesso  
NZeb-  
foundation.**

Esiste uno strettissimo legame tra progettazione NZeb e sostenibilità: conoscerlo, metterlo in pratica e invararlo quotidianamente, permette al progettista di accedere a un livello superiore di quella pianificazione che, attraverso sfide quotidiane, riesce a ridurre gli impatti sull'ambiente.

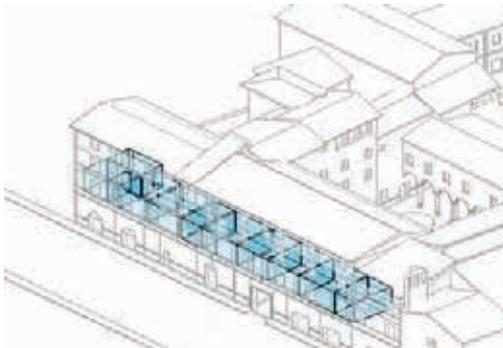
Le ricerche e gli studi e condotti nelle undici tesi qui raccontate, manifestano proprio questa volontà da parte di coloro che le hanno scritte; indagando in modo sistematico le sperimentazioni attuali sull'innovazione dell'involucro architettonico, si aprono le porte a sviluppi futuri, dove l'evoluzione del sistema tecnologico ed impiantistico, si coniuga al controllo delle prestazioni energetiche negli edifici.

Questi obiettivi strategici sono attuabili solo attraverso l'evoluzione dell'involucro, che si rende attivo, cinetico, parametrico.

Il Master ABITA (in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente), si inserisce in un ambito culturale e di ricerca per rispondere all'elevato interesse, espresso sia dalle pubbliche amministrazioni che dalle aziende, verso una progettazione sostenibile,



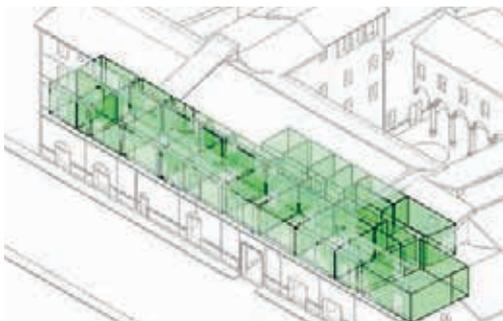
*a sinistra*  
**esportazione  
 del modello  
 energetico a  
 masse concettuali  
 in formato green  
 Building XML,  
 con indicazione  
 dei locali**



*sopra a destra*  
**BedZED, edificio  
 completamente  
 sostenibile**



*sotto a destra*  
**Heliotope, casa  
 tedesca a basso  
 consumo grazie  
 alla rotazione  
 continuativa  
 a seconda  
 dell'orientamento  
 del sole**



L'acqua calda  
 è prodotta da  
 pannelli solari,  
 mentre i pannelli  
 fotovoltaici sul  
 tetto dell'edificio  
 producono più  
 energia di quanta  
 ne serve alla casa



una gestione consapevole delle risorse e un controllo della pianificazione territoriale della Smart City. Fornisce procedure e strumenti di gestione e di validazione economica, di costruzioni nuove e non, recuperando e trasformando l'esistente in termini energetici ed ambientali.

Il Master di II livello, organizzato dal Centro Interuniversitario Abita di Firenze, ha come obiettivo quello di offrire una formazione di alto livello nel settore della sostenibilità ambientale per la riduzione dei consumi; si muove, attraverso strumenti operativi, in una prospettiva eco-sostenibile, al fine di aumentare il comfort del sistema edificio-impianto. Tutte le fasi del processo, dall'analisi dell'area oggetto di studio, fino alla definizione delle diverse soluzioni di progetto, vengono sviluppate ed elaborate con un sistema di modellazione basata su protocollo BIM (building Information Modelling), con lo scopo di sviluppare un'esperienza di processo integrato ad alta efficienza, condizione base dei sistemi di valutazione e certificazione.



*sopra a sinistra*

**Simulazione Greenstone Building.** Edificio canadese la cui facciata è ricoperta da celle fotovoltaiche che generano il 5% dell'elettricità consumata dall'edificio

*sopra a destra*

**Casa solare passiva, Edmonton, è un edificio a energia zero.** Si riscalda attraverso energia solare passiva: le finestre, a triplo vetro, accumulano il calore del sole e il pavimento, in cemento, restituisce alla casa il calore del terreno

*sotto*

**L'edificio nZEB K19B a Milano.** Ha un involucro ben isolato e un impianto geotermico per la produzione del riscaldamento e del raffrescamento

In particolare, si affrontano e strutturano tematiche sull'integrazione tra gli edifici e le energie rinnovabili, le caratteristiche dei materiali costruttivi innovativi (incluse le tecnologie in legno Cross-Lam e Platform Frame), i metodi di realizzazione, il controllo dei costi di costruzione, l'efficienza energetica: elementi tutti ugualmente utili, ed orientati verso una valutazione energetica integrata a quella economica.

Le esercitazioni pratiche permettono di sperimentare la conoscenza e l'applicazione delle competenze acquisite, applicandole a casi studio concreti. Un intero modulo, per esempio, è dedicato alle simulazioni dinamiche con Design Builder, Open Studio e/o Energy Plus.

Il Master Abita, di durata annuale, è comprensivo di attività frontali e di laboratorio, di seminari e di didattica interattiva; durante le esercitazioni pratiche viene utilizzata una strumentazione professionale, in grado di realizzare audit energetici con un buon grado di approfondimento. Alcune di queste esercitazioni sono proprio i casi studio di audit energetici (riportati nell'ultima parte del volume), svolti dagli studenti, in collaborazione con i docenti del modulo EGE.



↑  
**Il processo BIM e gli ambiti da esso trattati.**

Il patrimonio edilizio pubblico, in particolare quello scolastico, necessita di interventi di riqualificazione energetica; così, il lavoro svolto, intende fornire i corretti strumenti di analisi e le procedure più idonee alla realizzazione di un audit energetico completo.

La collaborazione con il Comune di Firenze, settore edilizia scolastica del centro storico, è stato avviato da diversi anni con il master Abita e consente di formare nuovi professionisti EGE (esperti nella gestione dell'Energia), realizzando un'esperienza concreta sul campo, attuando sopralluoghi, utilizzando strumenti di diagnosi e analizzando i dati relativi alle forniture di energia, per poi compararli con i dati risultanti dai rilevamenti svolti in diversi periodi dell'anno.

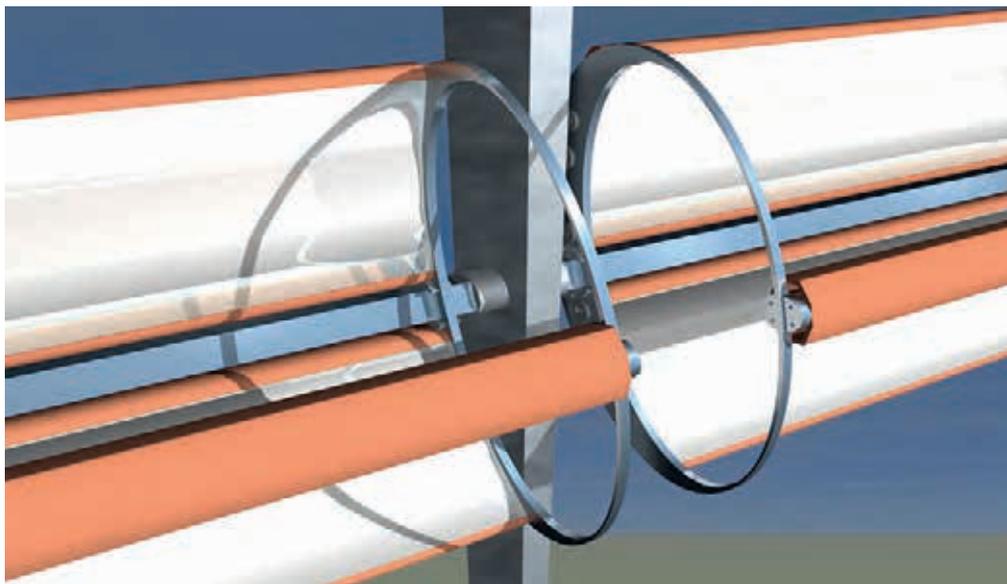
Il lavoro, svolto nelle undici tesi selezionate del Master ABITA degli ultimi anni, risponde alla crescente necessità, nell'ambito dell'edilizia, di integrare nuovi componenti innovativi, diffondendo l'uso di energie rinnovabili sia dentro gli edifici, che fuori, nell'ambiente urbano.

Le tecnologie solari sono da considerarsi come l'insieme di tutte quelle strategie, progettuali e costruttive, attraverso le quali si cerca di perseguire un'architettura consapevole, capace di ricongiungersi con l'ambiente circostante.

Due lavori, tra le tesi di seguito, sono stati realizzati tramite il BIM (Building Information Modeling); il software di modellazione 'Revit', inserito in questo contesto, ha consentito di raccogliere informazioni sulla localizzazione geografica, sulla geometria, sulle

*pagina a fronte sopra*  
**Componente di un elemento modulare in facciata a concentrazione**

*sotto*  
**Restituzione tridimensionale delle componenti di un frangisole a concentrazione**



proprietà dei materiali e degli elementi tecnici, sulle fasi di realizzazione e sulle operazioni di manutenzione.

Le undici tesi mostrano come il ruolo del BIM, nell'industria delle costruzioni, riesca a mettere in concerto tutti i dati riguardanti le simulazioni energetiche e la progettazione strutturale, al fine di perseguire l'ottimizzazione del progetto, in tutte le sue fasi.

Il BIM consente dunque una progettazione integrata, il cui fine risiede nel perseguimento della sostenibilità energetico-ambientale; con tale strumento è possibile ottenere una visione completa dell'edificio, concepito come un sistema globale e non come la somma di diversi elementi separati.

La progettazione integrata consente di gestire la progettazione dell'edificio durante tutto il ciclo di vita, dall'avvio del cantiere alle fasi di gestione e manutenzione.

Il BIM richiede però maggiore integrazione e collaborazione fra tutti gli attori del processo

edilizio, in modo tale che la progettazione energetica, impiantistica e illuminotecnica vada di pari passo a quella architettonica, rendendo salda la collaborazione fra le differenti figure professionali.

Parallelamente, questo nuovo approccio determina un'evoluzione nel concetto di 'sistema edificio-impianto', che diventa un sistema 'edificio-impianto-ambiente-utente'.

Alcune tesi di Master presenti nel volume utilizzano il processo BIM nei diversi aspetti della progettazione sostenibile: nello studio dell'irraggiamento solare, nell'orientamento, nell'analisi e nella simulazione prestazionale.

A seguito di un'attenta analisi dei principi della modellazione energetica, è stato attuato un confronto critico tra la modellazione tradizionale e quella basata sul processo BIM.

Nel mettere a punto la riqualificazione energetica, è stata riservata particolare attenzione allo studio tipologico dei dati condivisi, del livello di dettaglio da perseguire e dell'accuratezza nel passaggio dei dati.

Gli edifici oggetto di analisi sono stati classificati come edifici a energia 'quasi zero', ovvero ad altissima prestazione energetica, il cui basso fabbisogno rimanente viene coperto, per larga parte, da fonti rinnovabili. A tal proposito, sono state avviate alcune attività di ricerca, nel tentativo di rendere il flusso di lavoro interoperabile e condivisibile.

Rispetto alla modellazione energetica tradizionale, i vantaggi dei BIM sono numerosi, sia in termini di costi e tempi, che di efficienza e accuratezza dei risultati.

Il primo grande vantaggio è l'interconnessione dei dati, che consente un miglioramento dell'efficienza del processo edilizio, puntando all'innovazione tecnologica.

La possibilità di condividere dati e soluzioni alternative sull'edificio da progettare (o riqualificare/restaurare), lungo tutto l'arco temporale del processo, può eliminare le molte criticità che, altrimenti, si creerebbero inevitabilmente in fase di progettazione, favorendo l'innalzamento qualitativo delle competenze nelle singole figure professionali che concorrono alla realizzazione di una costruzione.

Di seguito, sono state riportate le undici rielaborazioni delle sopracitate tesi svolte dagli studenti del Master Abita; esse, pur trattando argomenti differenti, sono legate da uno stesso filo rosso conduttore, rappresentato dalla grande consapevolezza dello 'stato energetico' in cui, in termini sia quantitativi che qualitativi, versa l'edilizia contemporanea, e quindi dalla voglia di contribuire al benessere delle presenti e prossime generazioni, ideando dispositivi, tecniche e metodologie, riducenti l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

## Bibliografia

Abanda F. H., Byers L. 2016, *An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)*, Energy, vol. 97, pp. 517-527.

Azhar S. 2011, *Building Information Modelling (BIM): Trends, Benefits, Risk and Challenges for the AEC Industry*, in ASCE Journal, < [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)> (05/2016).

Dalla Mora T., Peron F., Cappelletti F., Ruggieri P. 2014, *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*, AICARR.

Ghaffarianhoseini A., Tookey J., Naismith N., Raahemifar K. 2017, *Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 75, pp. 1046-1053.

Volk R., Stengel J., Schultmann F. 2014, *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*, «Automation in Construction», vol. 38, pp. 109-127.





**Foto-  
inserimento di  
schermatura  
dinamica a  
concentrazione  
su facciata  
di edificio  
esistente.**

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Arch. G.  
Chieli, A.A.  
2015/16,  
Relatori:  
Prof. Arch.  
L. Ceccherini  
Nelli, Ing. A.  
Cappelletti

**Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto**

Il quadro di riferimento tematico in cui si colloca questa tesi, è quello delle prestazioni dell'involucro edilizio: il concetto di involucro deriva da quello classico di facciata, radicalmente trasformato nel corso del tempo, soprattutto a partire dalla seconda Rivoluzione Industriale; con l'introduzione di nuovi materiali, infatti, la facciata è diventata un elemento stilisticamente e tecnologicamente autonomo, dotato di potenzialità e funzioni in continua crescita. La questione del contesto, parametro indispensabile per chi opera nella progettazione architettonica sostenibile, guida la transizione dal concetto di facciata a quello di involucro.

Grazie alla crescente attenzione posta sui temi di sostenibilità e risparmio energetico, si sta sperimentando un'architettura in grado di adattarsi, non solo all'ambiente in cui è inserita, ma anche al mutare del tempo.

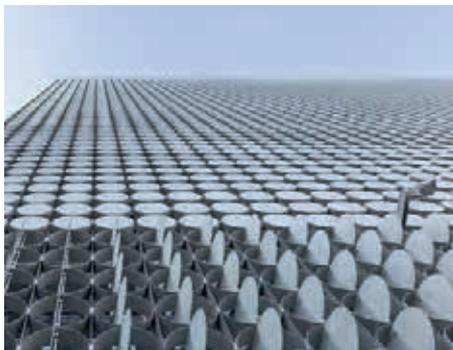
L'integrazione di questi due nuovi concetti conduce ad un'architettura che possa cambiare configurazione durante il giorno e la notte, e che possa variare al mutare delle condizioni climatiche esterne, in caso di sole o pioggia, vento o umidità: ecco allora che dal concetto di involucro edilizio si passa a quello di architettura dinamica o cinetica, ovvero quella che, per lo più grazie al collegamento con sistemi di meccanizzazione o sensori, si adatta ai parametri ambientali. Il passo in avanti rispetto alle soluzioni statiche, non è solo puramente tecnologico, ma apre un nuovo mondo di potenzialità espressive ed effetti architettonici e stilistici: costruzioni che si presentano mutevoli, mai uguali, imprevedibili: la firmitas vitruviana, che per secoli è stata una delle caratteristiche peculiari dell'architettura, cede ora il posto alla mobilità. In un edificio la parte dinamica è costituita principalmente dalla facciata o dal componente di facciata, concetti che spesso si confondono e fondono. I risultati architettonici più convincenti nel campo dell'architettura dinamica si hanno quando gli edifici, concepiti dalla committenza ancor prima che dal progettista, nascono come edificio-manifesto che possa testimoniare il massimo grado di avanzamento nel campo della ricerca e della sperimentazione oltre che, ovviamente, dare lustro e rappresentanza alla società committente. I risultati architettonici più convincenti nel campo dell'architettura dinamica si hanno quando gli edifici, concepiti dalla committenza ancor prima che dal progettista, nascono come



*sopra*  
**Schema di  
 apertura e  
 chiusura del  
 sistema di  
 ombreggiamento  
 dinamico sulla  
 facciata delle 'Al  
 Bahar Towers  
 Abu Dhab**



*sotto a sinistra*  
**Dettaglio di  
 ombreggiamento  
 dinamico  
 circolare in  
 facciata del RMIT  
 Design Hub.  
 Melbourn**



*sotto a destra*  
**Facciata del  
 Waterbube,  
 edificio  
 realizzato in  
 ETFE  
 Barcellona**



*pagina a fronte*  
**Dettaglio di un  
 concentratore  
 parabolico  
 lineare della  
 ditta Soltigua  
 Concentrating  
 Solutions**

edificio-manifesto che possa testimoniare il massimo grado di avanzamento nel campo della ricerca e della sperimentazione oltre che, ovviamente, dare lustro e rappresentanza alla società committente. Nel caso delle 'Al Bahr Towers' ad esempio, è il committente 'Abu Dhabi Investment Council', a richiedere sin dall'inizio un edificio landmark del design e delle tecnologie contemporanee, pur con richiami alla tradizione. Aedas Architects reinterpretano così il tema della 'Mashrabiya', grata di legno diffusa nell'architettura islamica, trasformandolo nell'elemento caratterizzante dell'edificio. L' RMIT Design Hub di Melbourne, invece, si caratterizza per un sistema di ombreggiamento dinamico a pattern circolari in vetro traslucido, montati su una sottostruttura in acciaio che, grazie all'utilizzo di sensori, è in grado di inseguire il percorso del sole. In questo modo si massimizza l'intercettazione dei raggi solari, pur consentendo la diffusione della luce all'interno dell'edificio.



In alcuni casi la facciata si trasforma in opera d'arte; questo è il concetto espresso dall' 'Indianapolis Fabrications', dove 7000 pannelli in metallo piegati e disposti secondo un piano di colore che varia da est a ovest, danno vita ad un edificio dinamico che sfrutta la semplice azione del vento. La facciata, non solo come componente tecnologico, ma come elemento espressivo. Risulta dunque evidente, alla base di questi edifici, la forte volontà iconica. Attraverso lo studio della colorazione, del materiale o della composizione in facciata degli elementi oscuranti, si possono ottenere risultati che rendono più vivo o, addirittura, ne diventano l'elemento caratterizzante.

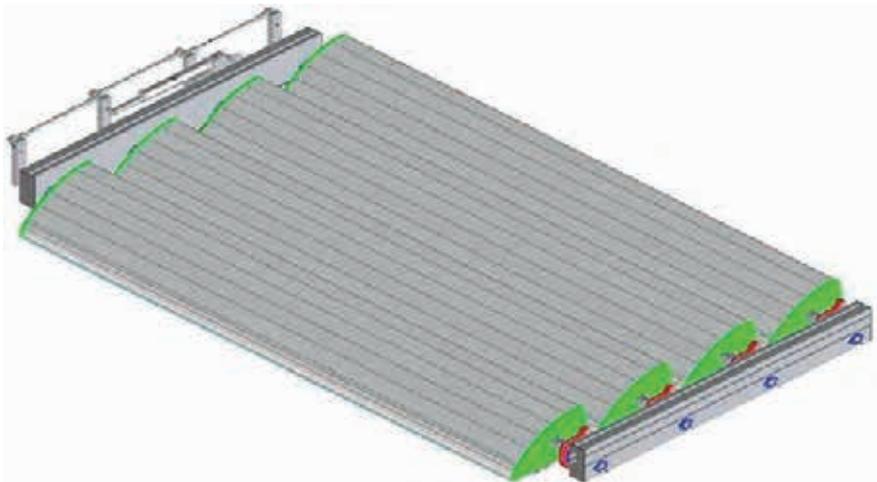
Il concentratore parabolico lineare, se ben progettato, è in grado di adattarsi a più contesti: dal residenziale al terziario, dal nuovo allo storico. Considerando però i numerosi punti in comune tra le funzioni e le modalità di installazione di elementi di ombreggiamento e moduli fotovoltaici, risulta inverosimile l'assenza, in commercio, di un dispositivo in grado di garantire entrambe le funzioni, pur mantenendo delle qualità formali ed estetiche valide ai fini dell'integrazione architettonica. Una parte consistente della ricerca nel campo del fotovoltaico e dei collettori per la produzione di calore si sta concentrando negli ultimi anni sulle tecnologie solari a concentrazione: sistemi che, attraverso l'utilizzo di specchi o lenti, concentrano i raggi solari su una piccola area nella quale si posiziona il materiale attivo, che può essere rappresentato da celle fotovoltaiche o da tubi nel quale scorre il liquido che si vuole scaldare.

I componenti di un sistema a concentrazione sono quattro: un ricevitore, dove viene posizionato il materiale fotovoltaico; un concentratore solare costituito da specchi parabolici o



**Prototipo a bassa  
concentrazione  
ad inseguimento  
monoassiale**

Sviluppato da un team di ricercatori della facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze e alcune aziende toscane



da lenti rifrattive, attraverso le quali si convoglia la radiazione solare verso il ricevitore; un sistema di inseguimento solare, ovvero un dispositivo meccanico in grado di inseguire, istante per istante, la luce solare, rendendo in tal modo il sistema altamente efficiente (tra il 25% e il 50%). Infine, come negli impianti fotovoltaici tradizionali, è presente un inverter adibito alla conversione della potenza da corrente continua a corrente alternata. Tuttavia, nonostante gli elevati rendimenti, non mancano, soprattutto nei sistemi di grande taglia, diversi inconvenienti quali alti costi di manutenzione e temperature elevate che difficilmente possono essere ridotti.

Punto di partenza della progettazione è stata la volontà di combinare l'elemento frangisole con la tecnologia del fotovoltaico a concentrazione. Ci si è dunque basati su un prototipo, brevettato da un gruppo di ricerca della facoltà di Ingegneria di Firenze, che si compone di un apparato per la cogenerazione di energia elettrica e termica da fonte solare, costituito da collettori parabolici lineari disposti parallelamente, provvisti di celle di conversione fotovoltaica e mezzi di smaltimento termico, montati su di un telaio in grado di ruotare attorno ad un proprio asse longitudinale. Anche se lo sviluppo è ugualmente lineare, rispetto al prototipo sviluppato dal team di ingegneri fiorentini, il nuovo modello non prevede l'utilizzo del vetro per coprire l'area captante, poichè si è ritenuto che questo graverebbe notevolmente sul peso del dispositivo, limitandone l'uso. Esteticamente il componente è composto da due parti paraboliche speculari, in grado di ruotare attorno al loro fuoco: i movimenti di apertura, chiusura e rotazione verso il basso e verso

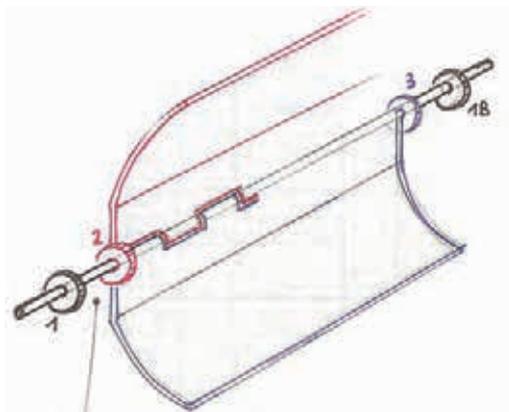
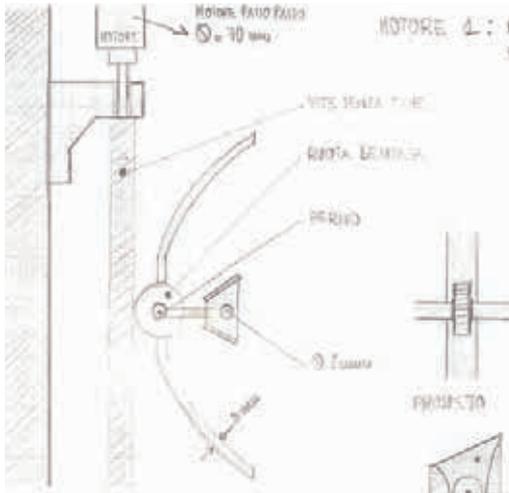
*pagina a fronte*

*a sinistra*

**Disegni  
preliminari alla  
progettazione  
del nuovo  
componente  
dinamico  
di facciata a  
concentrazione**

*a destra*

**Assonometria  
dei moduli,  
in diverse  
colorazioni**



l'alto, fanno sì che possa essere inseguito costantemente il movimento del sole. Il primo step progettuale è stato lo studio di una forma parabolica adatta a costituire il profilo del frangisole. Attraverso lo studio della funzione parabola, si è giunti alla configurazione di un profilo adeguato alla realizzazione di un componente di piccole dimensioni; il fuoco è stato posizionato all'interno del profilo, in modo che le due ali paraboliche possano anche proteggere la parte più delicata del componente, costituita dalle celle fotovoltaiche.

I meccanismi per movimentare il sistema sono semplici: sia l'inseguimento solare che l'apertura e la chiusura delle parabole sono garantite attraverso l'ancoraggio ad un perno centrale. Tale perno centrale attraversa tutta la lunghezza del concentratore, sul quale sono montate tre rotelle: una, saldata al perno stesso, preposta all'inclinazione solidale di tutto il sistema e le altre due (ciascuna saldata ad un'ala del componente), a garantire la chiusura e l'apertura del frangisole. Il movimento alle tre ruote dentate è trasmesso da tre viti senza fine,



**Elaborazioni tridimensionali dei moduli frangisole su più edifici**

comandate da un piccolo motore che reagisce agli impulsi rilevati da un sensore climatico. La parte preposta alla movimentazione è nascosta da un carter attraverso il quale tutto il sistema schermante viene ancorato alla facciata dell'edificio.

Il componente è stato così configurato per funzionare da frangisole-produttore di energia nella sua configurazione totalmente aperta. Insegue il moto apparente del sole ponendosi sempre in perpendicolare rispetto all'inclinazione dei raggi e, tramite la parte specchiata, li convoglia nel fuoco del sistema. In assenza di sole o nelle ore notturne, quando non si ha bisogno di ombreggiare la facciata, il componente può essere chiuso. Questa possibilità connota il componente di sembianze molto diverse, influenzando l'aspetto dell'edificio. Le due ali in alluminio sono rivestite da un film altamente riflettivo e adatto all'uso esterno, grazie alle sue proprietà weather-resistant.

La parte esterna delle ali può essere rivestita a piacimento. I dati relativi alla produzione energetica dell'elemento sono stati calcolati interpolando i risultati sperimentali ottenuti dal team di ingegneri fiorentini, essendo le caratteristiche materiche e tecniche del tutto assimilabili. Oltre alla produzione annua di 53 KWh elettrici, il dispositivo genera anche 265 kWh termici, grazie all'uso di un fluido termovettore che consente la diminuzione di calore prodotto e di produrre A.C.S. Lo stretto rapporto tra innovazione tecnologica ed architettura è divenuto ormai imprescindibile ai giorni d'oggi. Tuttavia, non sempre si riesce a raggiungere un'integrazione efficace. Questo lavoro di ricerca si ripropone di sperimentare dei componenti dinamici a concentrazione al servizio di architetture,



**Elaborazioni tridimensionali dei moduli frangisole su più edifici**

committenze e investimenti standard; obiettivo del lavoro è stato inoltre quello di dimostrare la facilità di impiego di questi dispositivi in facciata, allo stesso modo di classici frangisole. La possibilità di connotare i singoli elementi di colori differenti, sia in configurazione aperta che chiusa, agevola sicuramente il dialogo con l'edificio e con il contesto. L'aspetto assunto dal prototipo in configurazione aperta connota il sistema di un'immediata valenza tecnologica, pur non imponendosi dimensionalmente. La scelta della tecnologia a concentrazione

inoltre aggira il problema dell'integrazione del fotovoltaico in facciata, che risulta ancora non completamente digerito e assimilato in campo architettonico, risultando sempre nascosto in prospetto, in ogni configurazione ed inclinazione assunta dall'elemento. Infine le problematiche derivanti dall'uso della concentrazione solare quale il deterioramento, lo smaltimento del calore e i prezzi elevati che sono tutt'oggi in fase di messa a punto, non incidono in maniera significativa nel caso di sistemi a bassa concentrazione, consentendo la realizzazione di un sistema ad alta efficienza. Di seguito sono stati riportati degli esempi esemplificativi di integrazione architettonica su edifici realmente esistenti. Di ogni immobile sono state proposte tre diverse configurazioni: stato di fatto, configurazione aperta e chiusa.

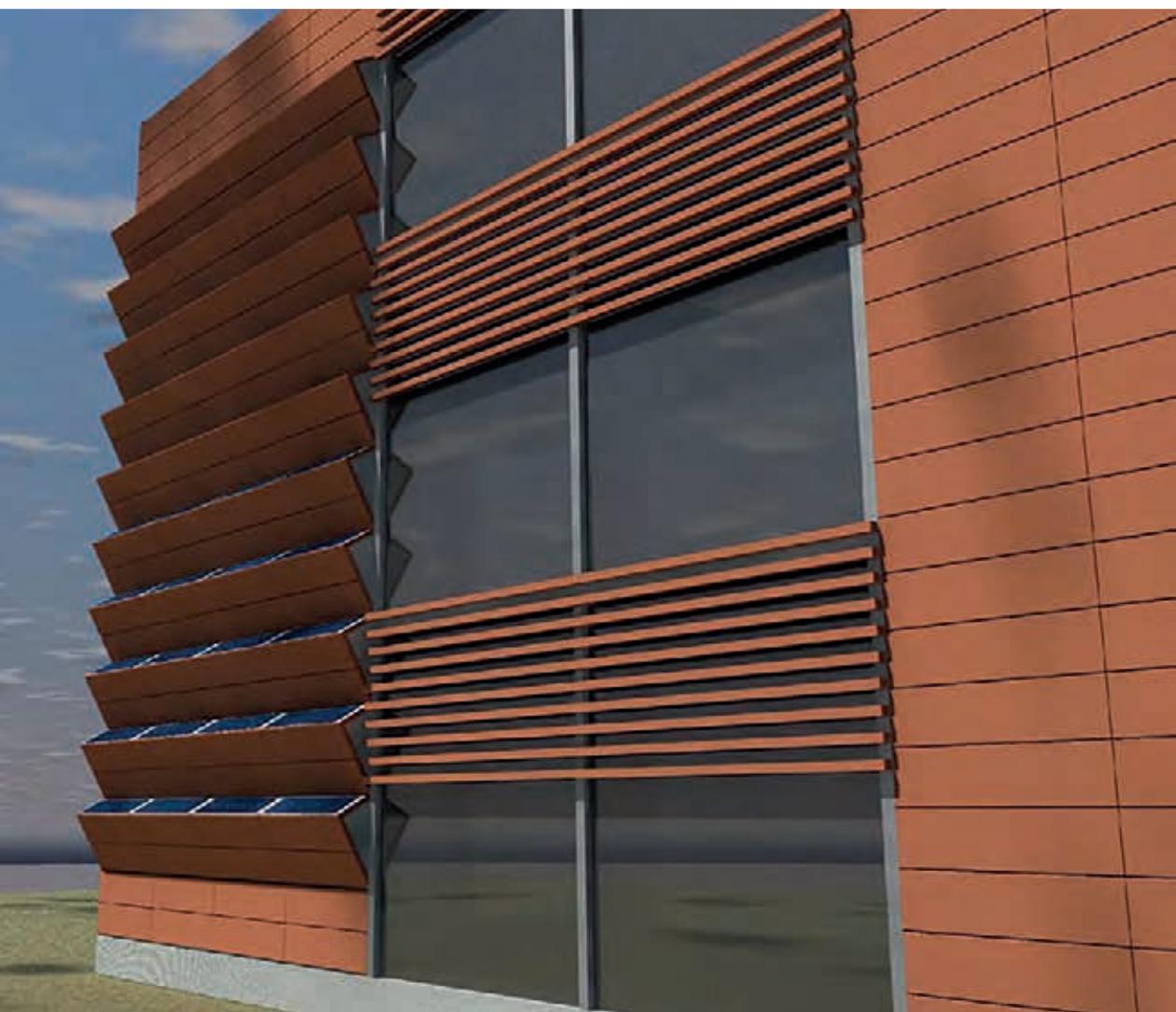
## **Bibliografia**

Nastri M. (a cura di) 2015, *Le schermature solari: tipologie e criteri di funzionamento*, Speciale tecnico *Quale Energia*, Roma

Pozzetti L. 2013, *Sistemi Fotovoltaici a bassa concentrazione per integrazione architettonica*, tesi di dottorato di ricerca in fisica, Università di Ferrara, Ferrara.

Romano R. 2011, *Smart skin envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze.

Rubini L., Habib G., Lavra M. 2011, *Tecnologie solari a concentrazione-Produzione di calore a media temperatura*, ENEA.



---

# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA IN FACCIATA DI DISPOSITIVI DI OMBREGGIAMENTO IN MATTONI E CELLE PV

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



Realizzazione  
tridimensionale  
della facciata  
ventilata

intelligente

Estratto dalla

Tesi di Master

di Arch. L.

Scalpellini,

A.A. 2006/07,

Relatori: Prof.

Arch. M. Sala,

Prof. Arch. A.

Trombadore

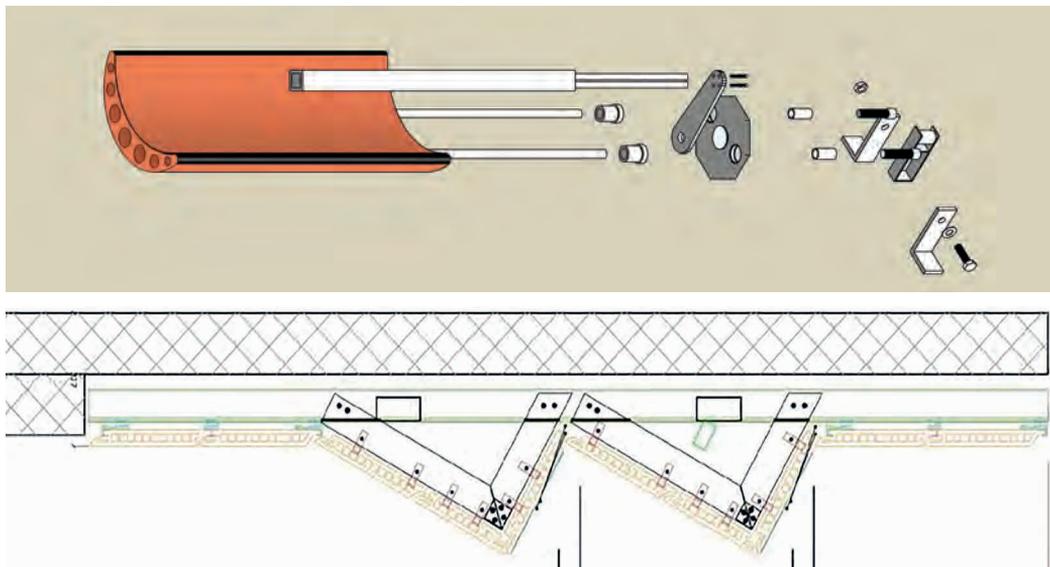
Il seguente lavoro, che consiste nella prototipizzazione di pannelli fotovoltaici applicati ad una facciata ventilata, si colloca all'interno di una ricerca sviluppata dalla facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, congiuntamente ad aziende toscane, al fine di colmare il divario sussistente tra integrazione architettonica, in condizioni climatiche mediterranee, ed efficienza economica. Cercando infatti di integrare sistemi tecnologici innovativi (come la concentrazione di PV), con materiali tradizionali (mattoni), si è arrivati alla progettazione di un sistema schermante costituito da un concentratore solare di forma parabolica.

Indagini di mercato rivelano che, attualmente, è difficile riscontrare il binomio precedentemente accennato; esistono infatti sistemi accoppianti celle fotovoltaiche a strutture in legno o acciaio, ma mai a materiali lapidei e men che meno al cotto, materiale appartenente alla tradizione manifatturiera toscana.

Volendo quindi 'vestire' la tradizione di contemporaneità, ha preso forma la nostra facciata intelligente: una reiterazione di mattoni in cotto (estrusi in forma parabolica e inclinati in modo tale da poter offrire, al compagno sottostante, il giusto quantitativo di ombreggiamento e soleggiamento), sormontati da pannelli fotovoltaici; mentre una seconda parabola, rivestita in materiale riflettente, consente la rifrazione della radiazione solare e la concentrazione nei 'punti giusti'.

Nonostante il sensibile aumento dei costi (un 20% in più rispetto alla soluzione classica di parete ventilata in cotto), l'incremento delle prestazioni energetiche, unito alla produzione di energia elettrica, permette di ammortizzare la spesa iniziale in poco tempo. Ciò consente l'applicazione del modello anche nei paesi arabi e nell'America latina, dove le condizioni climatiche estreme costringono a trovare soluzioni efficaci, innovative e facilmente integrabili. Lo studio dei sistemi di ombreggiamento frangisole ha portato a rilevare il fatto che questi si prestano molto bene a ospitare moduli di silicio per la produzione di energia elettrica tramite il fotovoltaico.

Dall'idea si è passati allo studio della forma, pensata come l'unione di tre differenti componenti montati alla struttura di sostegno tramite profili metallici, appositamente realizzati per



↑  
**sopra**  
**Particolare**  
**costruttivo**  
**dell'attacco**  
**struttura**  
**portante-**  
**elemento**  
**in cotto**

sotto  
**Sezione del**  
**prototipo del**  
**progetto.**

*pagina a fronte*  
*sopra a sinistra*  
**componenti**  
**dell'elemento**  
**modulare**  
**in facciata a**  
**concentrazione**  
*sotto a sinistra*  
**Porzione di**  
**parete ventilata**  
*a destra*  
**schematizzazione**  
**del sistema di**  
**movimento del**  
**prototipo**

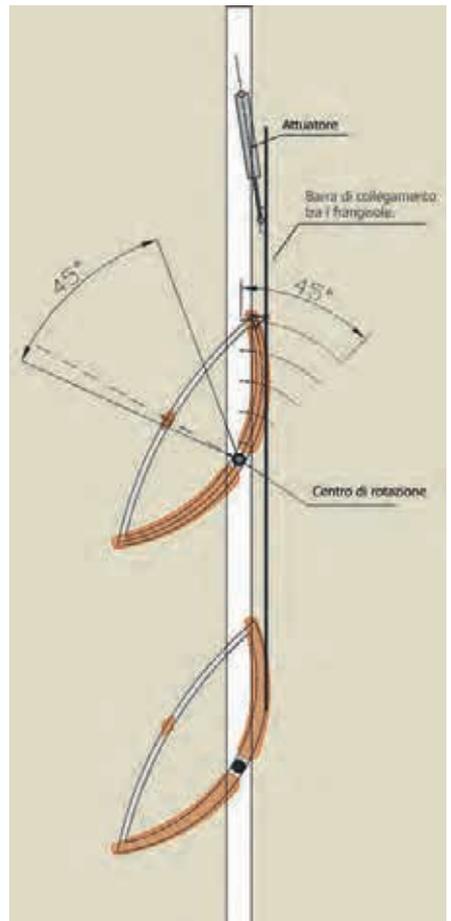
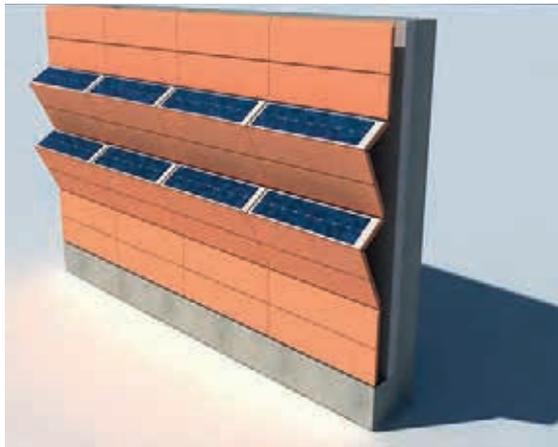
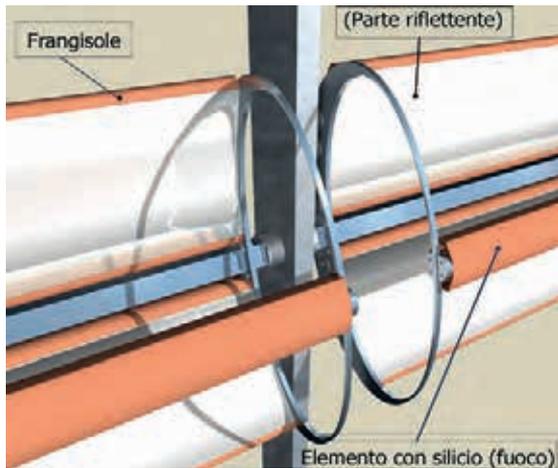
permettere agli elementi in cotto di avere l'inclinazione desiderata. La struttura portante, che ha lo scopo di collegare la facciata ventilata alla parete dell'edificio, è in profilo metallico (alluminio), con sistema di ancoraggio (elementi in cotto), opportunamente dimensionato per resistere al carico.

La cella fotovoltaica utilizzata (in silicio monocristallino con una efficienza del 21%), essendo molto sottile e leggera, si integra in maniera ottimale alle lastre in cotto; tale unione, resa salda dall'adesivo siliconico, permette così il raffreddamento delle celle fotovoltaiche grazie alla presenza dei fori nel materiale duttile.

Essendo però l'elemento in cotto di forma concava, si è pensato, successivamente, ad un sistema che potesse assecondarne la geometria; per questo motivo si è preferito utilizzare dei sistemi fotovoltaici a concentrazione.

Per ottenere una parabola adatta alla concentrazione, è stato necessario modificare sia la curvatura che la dimensione dell'elemento prodotto. Per testare l'efficacia dell'elemento si è proceduto alla sua realizzazione e alla verifica delle prestazioni. La stima del rendimento del prototipo, realizzata attraverso opportune simulazioni, rivela così una resa pari a 70 W per pannello.

Il sistema è replicabile a diverse latitudini e longitudini studiando, di volta in volta, la geometria del sole e la sua inclinazione durante i solstizi, in modo tale da ottenere il miglior rendimento nell'arco dell'anno.



Successivamente, per motivi dimensionali, la parabola è stata divisa in due parti collegate da un elemento metallico che serve a far ruotare il sistema liberamente; le due 'ali' sono realizzate in materiale riflettente (smaltatura bianca a base di biossido di titanio).

Il processo di smaltatura nei frangisole, non solo ha il vantaggio di riflettere i raggi solari per poi concentrarli nelle celle fotovoltaiche in maniera ottimizzata, ma ha anche la funzione di evitare che il cotto si surriscaldi, evitando così di propagare il calore per irraggiamento verso l'edificio. La scelta del biossido di titanio riguarda il fatto che esso non è tossico, non scolorisce e ha un indice di rifrazione molto alto.

Altra ipotesi sempre valida, consiste nell'applicare una lamina metallizzata riflettente all'interno del frangisole progettato. Il sistema di movimento è stato studiato e sviluppato in diverse configurazioni, tenendo presente che queste vanno corrette in base al luogo geografico di riferimento.

La realizzazione dell'inseguitore solare (di tipo monoassiale e controllato da attuatori elettrici), è stata pensata per garantire che i frangisole parabolici, ruotando, fossero sempre posizionati in modo tale da mantenere, durante l'alternarsi delle stagioni e le ore della giornata, l'orientamento ideale alla captazione dei raggi solari.

Infatti, mentre per le facciate con esposizione Est o Ovest, è preferibile posizionare il sistema verticalmente, invece in quelle con esposizione prevalente a sud, conviene che siano disposte orizzontalmente, perchè l'impianto deve percorrere un angolo inferiore ( $45^\circ$  invece che  $180^\circ$ ).

Inoltre l'inseguimento solare è stato pensato di due tipi: uno attivo, nel quale sono presenti sensori ottici (che individuano la direzione da cui proviene la maggiore intensità luminosa e azionano il concentratore), e l'altro passivo perchè si basa su informazioni statiche date dalla longitudine e latitudine dell'impianto.

## Bibliografia

- Ceccherini Nelli L. (a cura di) 2004, *Impianto fotovoltaico integrato nell'edificio aule e biblioteca al Polo scientifico universitario di Sesto Fiorentino*, Alinea, Firenze.
- Ceccherini Nelli L. 2006, *Fotovoltaico in architettura*, Alinea, Firenze.
- Ceccherini Nelli L. 2007, *Schermature fotovoltaiche*, Alinea, Firenze.
- Coskun C., Toygar U., Sarpdag O., Oktay Z. 2017, *Sensitivity analysis of implicit correlations for photovoltaic module temperature: A Review*, in Journal of Cleaner Production.
- Miles W. R., Zoppi G., Forbes I. 2007, *Inorganic photovoltaic cells*, Materialstoday, pp. 20-27.
- Renno C., Petito F., Landi G., Neitzert H. C. 2017, *Experimental characterization of a concentrating photovoltaic system varying the light concentration*, Energy Conversion and Management, pp. 119-130.
- Sala M. (a cura di) 2002, *Integrazione architettonica del fotovoltaico– Casi studio di edifici pubblici in toscana*, Alinea, Firenze.
- Sala M. (a cura di) 2007, *Schermature solari*, Alinea, Firenze.



---

## CONCENTRATORI SOLARI LUMINESCENTI TRA INNOVAZIONE E PROGETTAZIONE

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



Foto-  
inserimento  
diurno e  
notturno,  
di pannelli  
LSC sulla  
facciata  
dello

studentato  
'M. Luzi'  
(Firenze)

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Arch.  
G. Gallo

Afflitto, A.A.  
2015/16,  
Relatori:

Prof. Arch.  
L. Ceccherini  
Nelli

Attraverso la definizione dei LSCs (Concentratori Solari Luminescenti), e la messa in luce dei loro aspetti positivi e negativi, spieghiamo per quale motivo questi siano da considerare validi sostituti dei classici pannelli fotovoltaici, o perché addirittura spesso le condizioni contestuali e il buon senso ci spingano a preferirli.

I casi studio proposti sono due: il primo riguarda lo studentato 'Mario Luzi', in una zona poco più a nord del centro storico fiorentino, dove situazioni al contorno poco favorevoli determinerebbero, installando celle fotovoltaiche comuni, una bassa resa in termini di efficienza. L'adozione di pannelli LCSs, oltre che costituire una 'accattivante' alternativa estetica, più appropriata per rappresentare l'iconografia di uno studentato, fornisce l'opportunità di ottenere un rendimento energetico di qualità migliore.

Il secondo caso studio, pensato ancora una volta per la città di Firenze, si basa sullo studio di azioni atte a migliorare la gestione dell'illuminazione urbana, tramite una segnaletica stradale integrata dalla tecnologia LSC. La finalità proposta è, sia quella di migliorare la visibilità notturna (anche in presenza di fenomeni atmosferici quali pioggia intensa, neve o nebbia), che quella di tessere una maglia urbana attraverso un filo 'verde' che lega piazze, parchi, giardini, strade urbane ed extraurbane. Lo studio dell'illuminazione urbana si articola, a sua volta, in tre categorie di interventi che verranno spiegati dettagliatamente: su parchi e giardini, su piazze e luoghi di aggregazione, su strade urbane ed extraurbane.

Ciascun esempio riportato conferma la versatilità e la reiterabilità dei pannelli LSCs, nonostante l'esiguo rendimento; questi fattori, uniti al fatto che il loro costo è basso o addirittura (se pensato per essere integrato direttamente), quasi nullo, rendono tali dispositivi appetibili alle amministrazioni e, da anni, oggetto di studi approfonditi a livello internazionale.

I LSCs appartengono, insieme ai sistemi fotovoltaici a bassa e ad alta concentrazione, alla famiglia dei sistemi fotovoltaici a concentrazione, i quali utilizzano sistemi ottici (lenti o specchi), per concentrare la radiazione solare su celle fotovoltaiche ad alta efficienza.

La prima grande peculiarità di questi dispositivi, rispetto alle celle convenzionali, consta nel fatto che essi consentono di produrre molta energia, dall'alba al tramonto, risolvendo il problema



**Palazzo dei Congressi di Montreal, Canada**



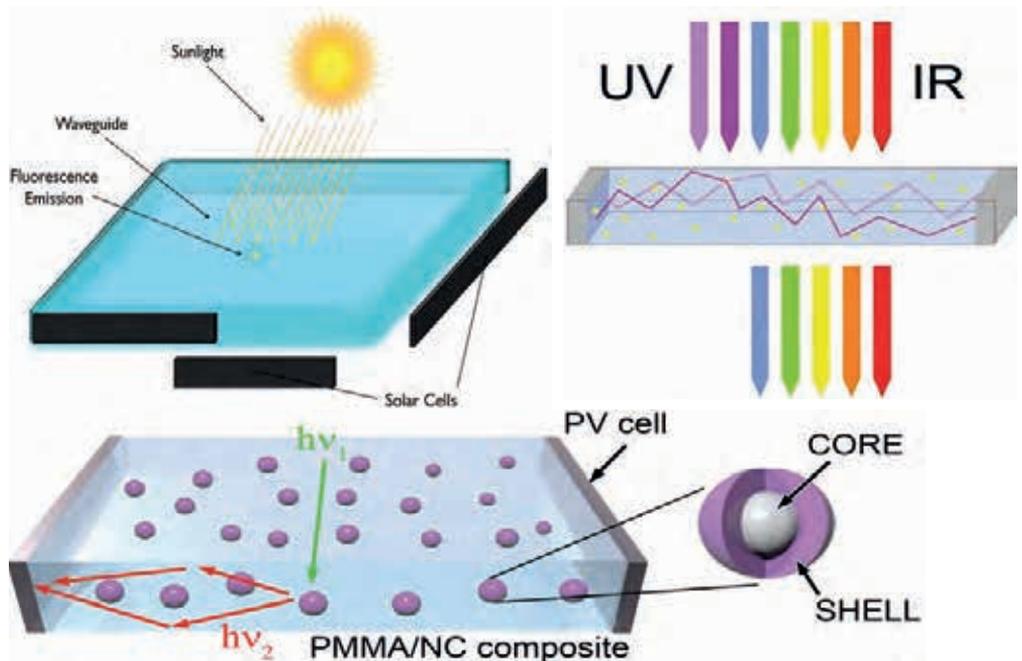
*pagina a fronte sopra a sinistra*  
**elementi costituenti un pannello LSC**

*sopra a destra*  
**schematizzazione della radiazione, presente all'interno dello spettro solare, attraverso la lastra dell'LSC**

*sotto a sinistra*  
**fluorofori immersi in un pannello LSC realizzato in PMMA**

legato alla necessità di disporre i pannelli solari con una certa inclinazione e orientamento. Inizialmente, con i pannelli a concentrazione, si pensava di aver risolto i due principali problemi interessanti la famiglia dei sistemi fotovoltaici tradizionali: costi e spazi elevati. Tuttavia, con il tempo, ci si rese conto che anche quest'ultimo tipo di tecnologia non costituiva la soluzione ideale, sia per il fatto che il calore prodotto da tali apparecchiature era difficilmente smaltibile, che per la presenza dell'inseguitore solare: qualsiasi difetto di questo elemento meccanico annullava del tutto l'efficienza dell'intero sistema. I LSCs nascono, negli anni '70, come evoluzione dei sistemi a concentrazione, non necessitando di inseguitori solari e non surriscaldandosi. Il LSC è generalmente un dispositivo costituito da una lastra piana ad alta qualità ottica (in vetro o materiale polimerico come il plexiglass), che funge da matrice, rifinito da un materiale contenente fluorofori, ovvero particolari cromofori in grado di generare colorazione fluorescente in determinate condizioni. Tali molecole fluorescenti rendono il sistema foto-attivo, ovvero capace di convertire i fotoni incidenti sulla superficie, trasformandoli in energia elettrica. Lungo i lati della lastra sono disposte delle celle fotovoltaiche, nelle quali viene convogliata la radiazione assorbita.

La caratteristica principale dei LSC è quella di riuscire a convertire la luce solare in lunghezze d'onda dove il rendimento elettrico è più alto, ovvero in radiazione ultravioletta; inoltre, essendo costituito da materiali trasparenti colorati molto leggeri, economici e flessibili, è possibile adattarlo, con costi contenuti, a varie situazioni architettoniche.



Un pannello LSC si compone di tre elementi: uno strato di materiale contenente molecole organiche fluorescenti, una lastra piana trasparente ad alta qualità ottica che funge da base al primo elemento, e infine una striscia sottile di fotovoltaico in silicio monocristallino, lungo lo spessore della lastra, nella quale viene convogliata la radiazione assorbita.

Secondo l'Università di Scienza e Tecnologia della Cina, il pannello di LSC ideale deve possedere delle caratteristiche fondamentali: grid parity con le fonti energetiche attualmente in uso, ampia gamma di assorbimento per utilizzare lo spettro solare in maniera più efficiente, 100% di fluorescenza, grande Stock Shift per minimizzare la sovrapposizione dello spettro di assorbimento con quello di emissione, semplicità di funzionamento, capacità di non surriscaldarsi, realizzabilità in diverse colorazioni e forme, basso costo e infine stabilità a lungo tempo (oltre 20 anni). Il secondo elemento caratterizzante la lastra piana del LSC, era e continua ad essere materiale polimerico, quale il PMMA, o vetro.

Dal momento che i raggi UV vengono in parte assorbiti, si determina, all'interno degli ambienti, una riduzione dell'irraggiamento e quindi, durante l'estate, una minore richiesta di energia per il raffrescamento attivo, e quindi, ancora, un risparmio economico. Tutto il resto della radiazione solare passa inalterato attraverso la lastra, illumina e riscalda gli ambienti interni, ma può subire variazioni di colore e forma in base alle scelte prese.

➔  
**Progetto dell'Università di Eindhoven** basato sullo sviluppo di barriere lineari antirumore, in pannelli LSC, poste lungo le autostrade

sotto a sinistra  
 Serra solare realizzata in pannelli LSC dalla ditta Soliculture

sotto a destra  
 Pensilina Eni per il bike-sharing Roma



## Esempi a confronto

Dei dati forniti in letteratura, sono di particolare interesse ai fini della prosecuzione della ricerca, alcuni esempi (realizzati o meno), di strutture utilizzando pannelli LSCs: la pensilina Eni a Roma per il bike sharing, il progetto di una barriera acustica e visiva in Olanda, e le serre solari in California.

La pensilina per bike sharing, elaborata all'interno dell'Istituto Eni Donegani, è costituita da 60 mq di lastre gialle fotoattive trasparenti, che producono una potenza di 500 Wp, la cui energia viene impiegata per caricare le bici elettriche. All'interno di ogni lastra è presente un pigmento giallo fluorescente che assorbe una parte della luce solare e la emette all'interno della lastra medesima.

Il progetto olandese invece, è nato grazie agli studi effettuati dai ricercatori dell'Università di Eindhoven; tale sistema si basa su un sistema di barriere lineari antirumore,

*pagina a fronte*  
**facciata**  
 principale dello  
 Studentato 'M.  
 Luzi' di Firenze



costituite da LSCs in grado di generare energia da impiegare per la collettività, quindi per l'illuminazione della carreggiata e delle abitazioni. È una scoperta e un'applicazione molto interessante, in quanto anche un solo chilometro di barriera può generare energia elettrica sufficiente al fabbisogno di 50 famiglie. Invece, in California, sono state realizzate serre solari costituite da moduli rettangolari di pannelli in LSC che permettono, con uno spettro di luce alterato di colorazione rosso, la crescita ottimizzata delle piante e contemporaneamente la produzione di elettricità necessaria per l'erogazione di acqua e luce all'interno della serra. Il sistema ha costituito uno stimolo ad incorporare il fotovoltaico nelle serre, grazie alla possibilità loro prospettata di poter usufruire, da parte del governo, di incentivi fiscali del 50%.

### **Caso Studio: Studentato 'M.Luzi'**

Alla luce dello studio degli esempi presenti in letteratura, è nato il caso studio proposto. Prima del predimensionamento di un impianto fotovoltaico è importante avere una conoscenza delle condizioni al contorno che interessano il fabbricato oggetto di studio. Qualora si verificasse infatti un orientamento sfavorevole dell'edificio, ovvero il fattore di ombreggiamento fosse troppo elevato, o ancora gli strumenti urbanistici attualmente vigenti o il gusto di progettisti e committenti richiedessero una integrazione fotovoltaica non in copertura, allora potrebbe essere necessario optare per i LSCs. Un contesto che condensa tutte le criticità sopra elencate è la residenza universitaria 'Mario Luzi' ubicata a Firenze nel quartiere denominato 'Novoli'.



*sopra*  
composizione  
dei pannelli LSC  
con dimensioni  
realmente  
esistenti,  
versione diurna  
e notturna



*al centro*  
composizione  
dei pannelli  
LSC secondo il  
gioco 'Tetris',  
versione diurna  
e notturna



*sotto*  
composizione  
dei pannelli LSC  
con colori dello  
spettro solare,  
versione diurna  
e notturna



Tale edificio si presenta esteticamente come un parallelepipedo rettangolo di colore bianco, scandito ritmicamente in facciata dall'alternanza di elementi verticali stretti e lunghi, che contribuiscono a dare l'apparenza di un luogo di detenzione per la collettività. Risulta essere 'circondato' da edifici di uno o due piani, più alti rispetto ai suoi sei. Tutto ciò fa intuire facilmente che l'integrazione di classici pannelli fotovoltaici in facciata, determinerebbe un rendimento poco soddisfacente, a causa sia della scarsa disponibilità di fonte solare, che dei fattori morfologici e ambientali al contorno, quali l'ombreggiamento e l'albedo. Anche gli effetti di schermatura da parte di volumi all'orizzonte, dovuti agli edifici circostanti, determinano la riduzione degli apporti solari e l'aumento del tempo di ritorno dell'investimento: il coefficiente di ombreggiamento, calcolato grazie all'utilizzo del software 'Solarius-PV', è pari a 0,25, mentre per il valore di riflettanza sono stimati i valori medi mensili di albedo pari a 0,26.

Attualmente, l'Università di Firenze è dotata di quattordici edifici destinati a residenza universitaria; tuttavia non esiste, tra questi, un legame che ne contraddistingua l'iconografia e che costituisca il filo conduttore a livello urbano.

Eppure non mancano, in Europa, buoni esempi: l'Università di Oslo, ad esempio, caratterizza tutti gli edifici interessati da attività studentesche con un simbolo grande ed evidente che possa distinguersi e farsi riconoscere tra le altre facciate anonime: una 'S' per student che crea nel gruppo universitario senso di appartenenza e identità.

Il principio progettuale normalmente utilizzato per un impianto fotovoltaico, è quello di massimizzare la captazione della radiazione solare annua disponibile. L'ipotesi di integrazione fotovoltaica attraverso l'utilizzo di classici pannelli quali ad esempio quelli in silicio-policristallino, utilizzati nella simulazione, non può trascurare gli effetti estetici poco gradevoli che produrrebbe, o l'eccessivo accumulo di calore dei dispositivi in facciata, che si esacerberebbe, prevalentemente in estate, durante le ore pomeridiane.

Un confronto tra il rendimento prodotto, su pari superficie, dai pannelli LSCs rispetto ai classici in silicio policristallino, determina una esigua convenienza nel preferire i primi ai secondi. Attraverso il programma 'Solarius-PV', infatti, è stato determinato il rendimento (di entrambe le soluzioni), prodotto sulla facciata principale dello Studentato, che ha un'estensione di circa 1000 mq. Mentre con il fotovoltaico tradizionale in silicio policristallino si ottiene una potenza totale pari a 38.000 KW, derivante da circa 770 moduli, invece utilizzando pannelli LSC si arriverebbero a produrre solamente 50 KW. Non serve un'analisi costi-benefici per determinare l'esigua 'convenienza' di tale ipotesi di integrazione.

Non volendo rinunciare all'uso di fonti rinnovabili, dando così alle generazioni future il 'buon esempio', si è ragionato sull'uso alternativo di pannelli LSCs in facciata, belli, colorati ed economici. E' ragionevole ritenere infatti che le residenze universitarie debbano manifestarsi, sia dentro che fuori, come luoghi di aggregazione, di accoglienza dello studente; dove oltre ad offrire tutti i servizi necessari, diano di sé una immagine giovanile, accattivante, colorata e mutevole proprio come quella degli studenti che le abitano, appartenenti a diverse fasce e nazionalità.

Sono state dunque pensate quattro varianti per la disposizione dei pannelli LSC in facciata, e per ciascuna di esse è stata proposta una versione diurna e una notturna. Dal momento che l'edificio in questione è rivolto principalmente agli studenti delle dieci scuole presenti nell'ateneo fiorentino, sono stati adottati pannelli riproponenti, ciascuno, il logo di una di queste scuole (immagini in alto nella pagina a fianco). Invece, le ultime due immagini in basso a sinistra nella pagina precedente, propongono la composizione di pannelli secondo i colori presenti all'interno dello spettro solare.



sopra a sinistra  
vista diurna  
di porzione  
del parco delle  
Cascine

Firenze  
sopra a destra  
vista diurna  
di via dei  
Calzaiuoli

Firenze.  
sotto a sinistra  
vista diurna  
di porzione  
di strada con  
curva a gomito,  
senza apposita  
segnaletica  
sotto a destra  
vista notturna  
di porzione  
di strada con  
curva a gomito,  
senza apposita  
segnaletica



pagina a fronte  
sopra  
vista notturna  
del parco delle  
Cascine con  
fotoinserimento  
di totem in  
pannelli LSC.  
al centro  
vista notturna  
di via dei  
Calzaiuoli con  
fotoinserimento  
di cornici  
autoilluminanti  
per le insegne  
dei negozi  
sotto  
vista notturna  
di porzione di  
strada con curva  
a gomito, con  
fotoinserimento  
di apposita  
segnaletica  
retroilluminata  
da pannelli LSC.

Le immagini proposte riguardano l'adozione in facciata di pannelli LSC le cui dimensioni sono realmente esistenti, mutando però le loro colorazioni. Infine, le ultime due immagini in basso a sinistra, rappresentano lo Studentato in veste più ludica, in quanto i pannelli sono stati composti come se fossero dei pezzi del gioco "Tetris". Si è deciso ciò per mitigare la monotonia della facciata esistente, ribaltando l'immagine che questo edificio trasmette alla collettività che vive il quartiere e agli studenti che lo abitano.

### Secondo Caso Studio: illuminazione urbana e segnaletica LSC

Il secondo caso studio, si focalizza su azioni atte a migliorare la gestione dell'illuminazione urbana tramite una segnaletica stradale integrata dalla tecnologia LSC. La finalità proposta è sia quella di migliorare la visibilità notturna, sia quella di tessere una maglia urbana green attraverso un filo 'verde' che lega piazze, parchi, giardini, strade urbane ed extraurbane. Attraverso l'installazione di totem nelle immediate vicinanze di sedute, lungo lo sviluppo lineare dei viali, viene pensato un tipo di illuminazione puntuale per parchi e giardini. Ogni totem, che può produrre fino a 12 watt, si illumina migliorando la visibilità notturna di questi luoghi e offre la possibilità di prolungare, fino al tardo pomeriggio, la loro fruizione. La possibilità di replicare il modello in più punti consente, per esempio lungo lo sviluppo lineare dei viali di un parco grande come quello delle Cascine (160 ettari), di disseminare, lungo il suo percorso, anche con una media del solo 10%,



una moltitudine di totem luminescenti (circa 1400), arrivando così a produrre, complessivamente, quasi 20 KW.

In ambiente urbano invece, è stata pensata, ai fini di rendere più visibili le insegne pubblicitarie di locali all'interno di piazze, vie di negozi e luoghi di aggregazione, l'integrazione di pannelli LSCs lungo la cornice di tali manifesti. Il tentativo è quello di disciplinare, illuminare e identificare le insegne attraverso linee guida precise che non ostacolino la viabilità e che non ledano il decoro urbano. In una delle vie più importanti di Firenze, un tipo di illuminazione luminosa ma non invadente, può costituire un sistema ben riconoscibile e, al tempo stesso, una maglia. Il rendimento di ogni cornice LSC, per ciascuna attività commerciale, rende circa 10 W, valore che cresce proporzionalmente al numero di attività che adottano tale sistema.

La segnaletica ha un ruolo fondamentale sia nella circolazione che nella sicurezza stradale: il mancato rispetto di uno 'stop', di una precedenza o semplicemente l'andamento incerto ed indeciso, possono avere quali concause dell'incidente la scarsa visibilità o l'assenza della segnaletica.

La letteratura scientifica è concorde nell'assegnare al miglioramento della segnaletica un ruolo significativo nella riduzione dell'incidentalità.

Dal momento che la normativa consente l'integrazione di sistemi di autoilluminazione nei segnali stradali, qualora le condizioni metereologiche del luogo lo richiedessero, è stata così pensata l'integrazione di pannelli LSC nella segnaletica verticale di semafori, delineatori modulari di curva e di margine, segnali di pericolo, di precedenza, di obbligo e di divieto. Si riporta, a titolo esemplificativo, un raffronto grafico tra immagini con il medesimo soggetto: una curva a gomito. Di giorno, nonostante manchi l'apposita segnaletica modulatrice di curva, la carreggiata è ben visibile e il livello di pericolosità è medio. Di notte però il livello è molto alto, sia per la mancanza di illuminazione della carreggiata, che per la presenza di nebbia. La proposta è allora quella di integrare alla segnaletica la tecnologia LSC. Tramite queste ipotesi progettuali, si evidenzia la versatilità estetica e funzionale che i pannelli LSC riescono ad offrire, nonostante l'esigua resa in termini di efficienza. Va da sé come, in un contesto analogo ma in settore differente, come per esempio nell'arredo urbano o nel terziario, anche il classico 'capannone' industriale può evolversi, arrivando a mutare il volto di una periferia; in una piazza le singole insegne possono restituire una icona green del brand dell'attività a cui fanno riferimento, rompendo la monotonia di un desolato non-luogo ai margini dell'urbe.

## Bibliografia

Ceccherini Nelli L. (a cura di) 2006, *Fotovoltaico in architettura*, Alinea, Firenze.

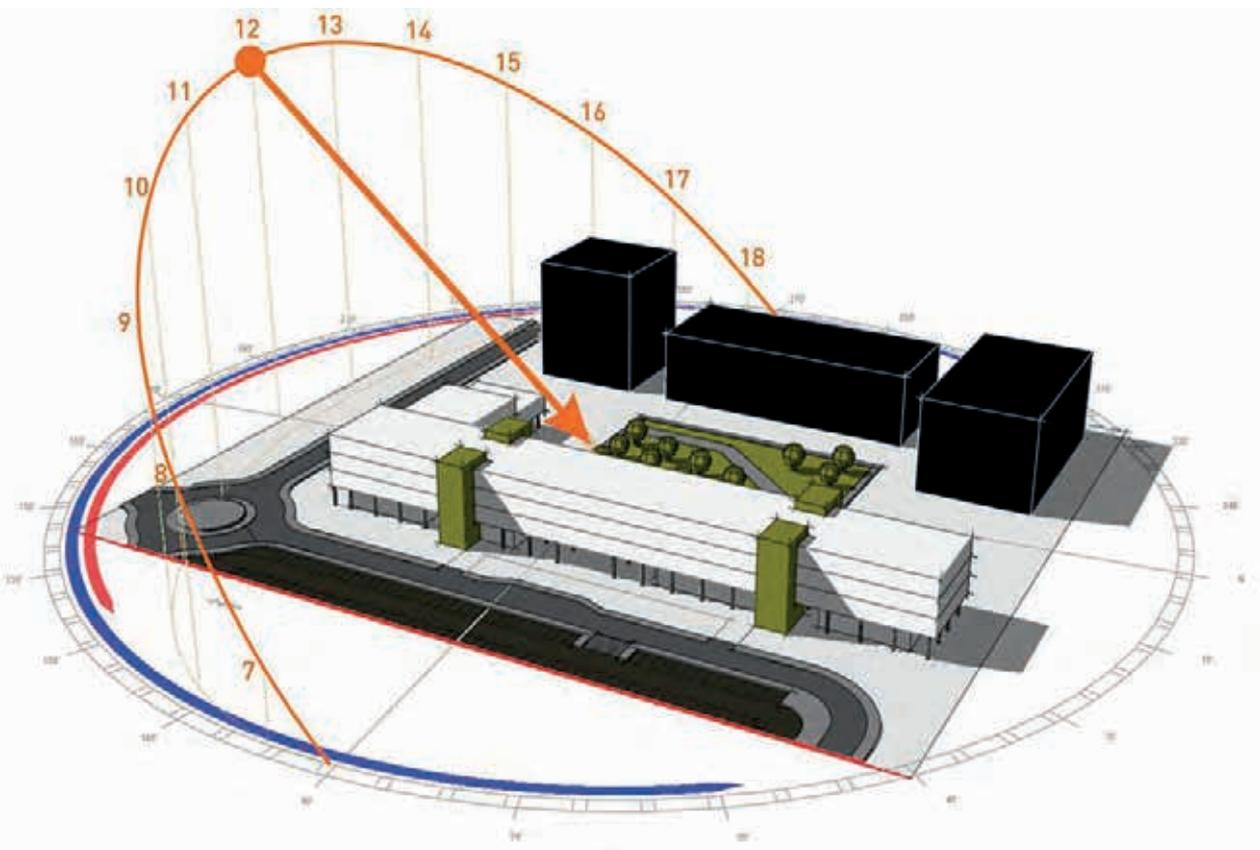
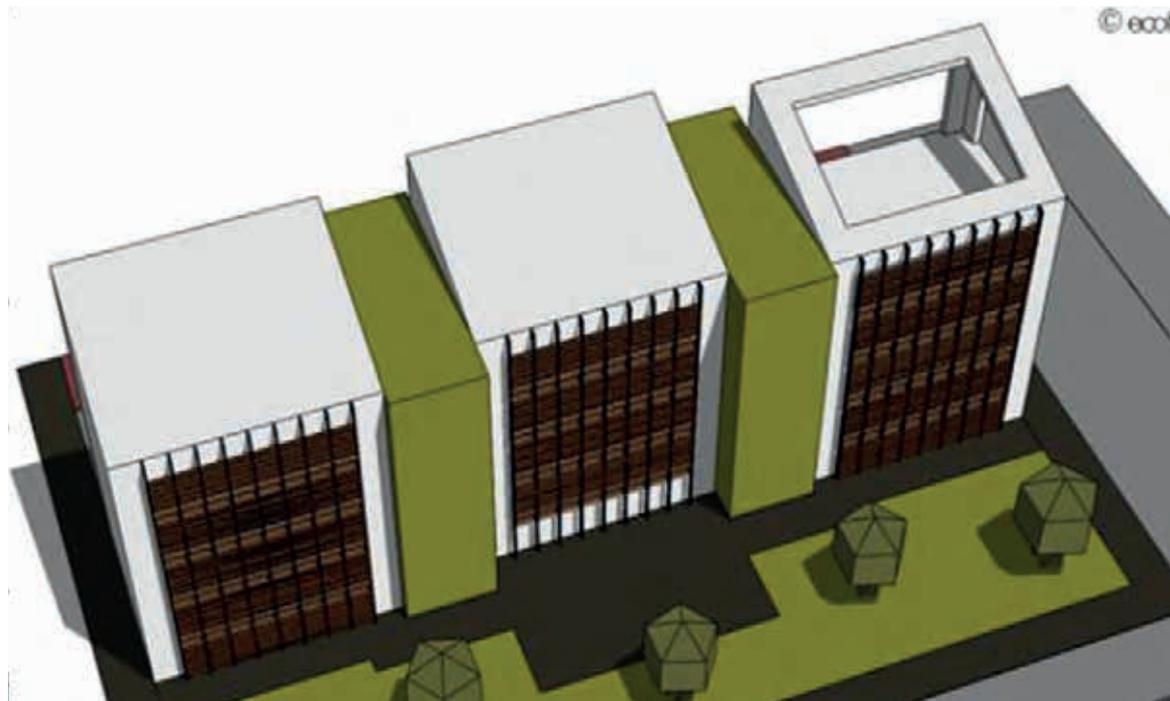
Desmet L., Ras A. J. M., De Boer D. K. G., Debije M. G. 2012, *Monocrystalline silicon photovoltaic luminescent solar concentrator with 4.2% power conversion efficiency*, Optical Society of America.

Goetzberger A., Wittwer V. 1981, *Fluorescent planar collector-concentrators: a review*, «Solar Cells», vol. 4, pp. 3–23.

Meinardi F., Colombo A., Velizhanin K. A., Simonutti R., Lorenzon M., Beverina L., Viswanatha R., Klimov V. I., Brovelli S. 2014, *Large-area luminescent solar concentrators based on 'Stokes-shift-engineered' nanocrystals in a mass-polymerized PMMA matrix*, Nature Photonics.

Reisfeld R., Neuman S. 1978, *Planar solar energy converter and concentrator based on uranyl-doped glass*, «Nature», vol. 274, pp. 144–145.

Wang T., Zhang J., Ma W., Luo Y., Wang L., Hu Z., Wu W., Wang X., Zou G., Zhang Q. 2011, *Luminescent solar concentrator employing rare earth complex with zero self-absorption loss*, in Elsevier.





**Restituzione tridimensionale di schermatura in facciata per il nuovo edificio da laboratori a Fidenza**

*sotto*  
**Altezza solare durante l'equinozio di primavera**

**Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto**

Estratto dalla Tesi di Master di Ing. G. A. Coco, A.A. 2009/10, Relatore: Arch. P. Gallo

Il lavoro proposto è incentrato su due distinti casi studio di sistemi a schermatura solare.

Il primo caso riguarda un nuovo edificio per laboratori di ricerca a Fidenza, a partire da un progetto preliminare esistente. Tale progetto prevedeva, visto l'orientamento e la configurazione della facciata principale come curtain wall, un sistema di schermatura continuo.

La soluzione al progetto preliminare, benché non particolarmente innovativa e accattivante, risultava adeguata alle necessità e alle condizioni climatiche del contesto nel quale l'edificio si sarebbe andato ad inserire; si trattava infatti di un frangisole a lamelle orizzontali fisse, ripetuto ugualmente lungo i tre corpi di fabbrica che costituiscono il complesso. L'interdistanza tra le lamelle, la loro profondità, nonché la distanza sistema schermante-facciata vetrata, erano infatti sufficienti a garantire un'adeguata schermatura estiva per la riduzione dei carichi termici e un discreto adeguamento termico-luminoso nei mesi invernali.

Tra le richieste per il nuovo progetto dell'edificio in esame vi era quella di migliorare le schermature, sia dal punto di vista funzionale, che connotativo e architettonico, per la caratterizzazione dell'edificio. A fronte di una richiesta così altamente stimolante e orientata alla ricerca, vengono poi interposti dei paletti invalicabili che smorzano un po' la spinta iniziale; nella fattispecie tali vincoli si configuravano come obbligo di un sistema fisso che non costasse più di quello proposto nel progetto preliminare.

Il secondo caso studio proposto riguarda invece la progettazione di un nuovo ospedale ad Orbetello, in provincia di Grosseto.

Gli studi effettuati sul progetto preliminare del nuovo edificio, le cui degenze presentavano delle grandi vetrate esposte ad EST ed Ovest, hanno portato a riflettere sulla necessità di prevedere un sistema di schermature delle stesse, per evitare l'accumulo termico durante l'estate.

### **Nuovo edificio per laboratori di ricerca a Fidenza**

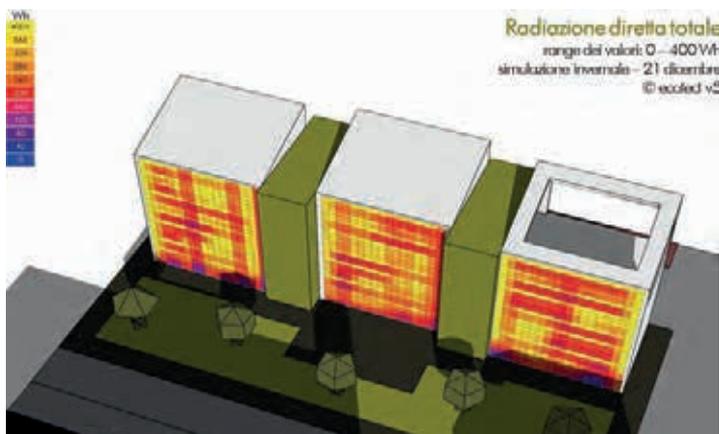
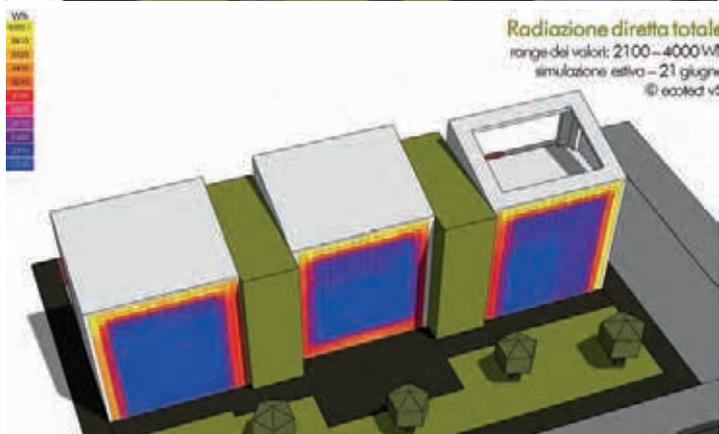
Le varie ipotesi avanzate sono state oggetto di simulazioni energetiche e di studi progettuali-compositivi per la schermatura della facciata.

Il primo lavoro è incentrato sul tema dell'ombreggiamento, considerando: la posizione geo-

➔  
sopra  
restituzione  
tridimensionale  
di schermature  
solari poste  
sulla facciata  
dell'ospedale di  
Orbetello

al centro  
simulazione  
relativa alla  
proposta  
progettuale  
il giorno del  
solstizio d'estate

sotto  
simulazione  
relativa alla  
proposta  
progettuale  
il giorno  
del solstizio  
d'inverno



grafica del complesso, il percorso solare nei mesi invernali ed estivi, e la radiazione incidente su determinate superfici considerate 'critiche', e per le quali si intende valutare possibili soluzioni migliorative rispetto al progetto preliminare.

Il complesso in esame risulta costituito da tre corpi di fabbrica a pianta quadrata, connessi tra loro da elementi di collegamento verticali. La facciata oggetto di studi incentrati su sistemi di schermatura è quella che ha orientamento Sud-Ovest poiché esposta, durante le ore pomeridiane, alla radiazione diretta.

La proposta migliorativa è incentrata sulla differenziazione del comportamento della schermatura in relazione agli ambienti retrostanti, cercando di ottimizzare il guadagno termico-luminoso nei periodi più sfavorevoli, senza penalizzare l'efficacia estiva della stessa. Sulla facciata, tramite il software Ecotect, sono state effettuate due simulazioni: una termica e l'altra luminosa. Per quanto riguarda la prima analisi energetica, ovvero quella termica, attraverso l'uso del software Ecotect è stata verificato, in regime sia estivo che invernale, l'effetto prodotto dalla radiazione solare sulle superfici vetrate retrostanti i sistemi di schermatura, nel periodo compreso tra le 8:00 e le 18:00.

Dalle analisi si è evinto che, mentre in regime estivo il vantaggio della nuova soluzione è solamente estetico e architettonico-formale, in regime invernale è invece termico, in quanto la luce, oltrepassando le lamelle, contribuisce ad illuminare e riscaldare la facciata. Tuttavia, è da evidenziare che la nuova soluzione risulti più vantaggiosa in termini prettamente energetici e di comfort.

Le simulazioni sono state realizzate, tramite l'utilizzo del software Relux, per due sale tipologiche in due blocchi diversi e a due quote diverse, schermate con la soluzione proposta; nel primo caso la sala è situata al secondo piano e il frangisole antistante risulta costituito da lamelle perfettamente orizzontali. Nel secondo caso la sala oggetto di studio-simulazione è situata al terzo piano e presenta lo stesso frangisole, ma con le lamelle questa volta inclinate a 22° per massimizzare il guadagno luminoso.

Nonostante il sistema di schermatura previsto sia di tipo fisso, esso non impedisce il raggiungimento del valore del 2% di fattore di luce diurna. Anche l'illuminamento medio risulta abbastanza buono, con 233 lx e una uniformità discreta che si attesta allo 0,43. Ciò è dovuto in gran parte alla grandezza dell'infisso sulla parete esposta a Sud.

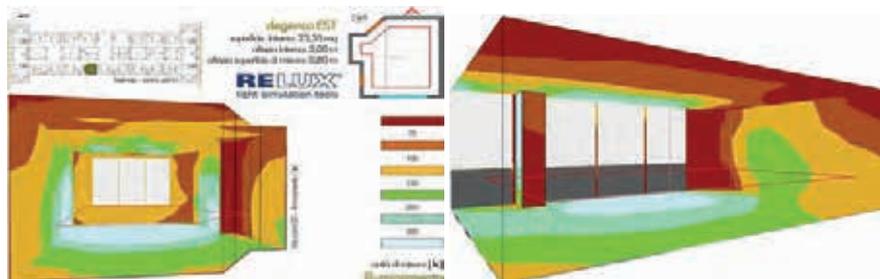
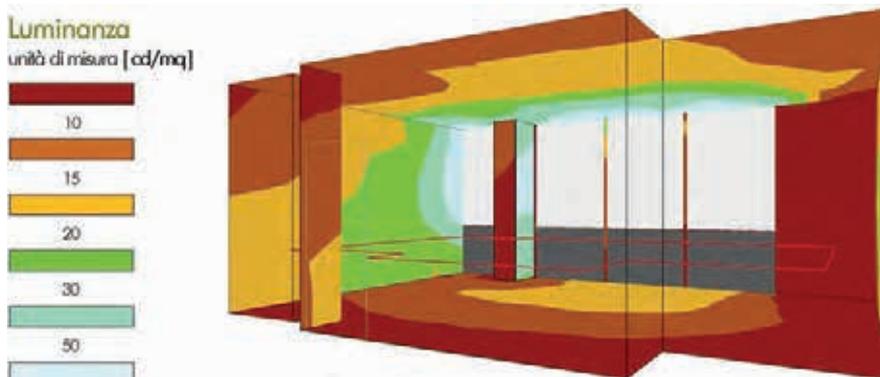
Sfruttando i dati ricavati dallo studio dell'altezza solare, si è verificato di quanto cambiassero i valori variando l'inclinazione delle lamelle in ambienti e punti specifici.

In realtà le analisi svolte, sempre tramite programma Ecotect, rivelano che gli ambienti davanti ai quali si propone di inclinare le lamelle frangisole otterranno sempre una corretta schermatura nei mesi più caldi ma, al contempo, potranno godere di una maggiore illumina-



sopra  
**Simulazione  
 luminanza di  
 stanza posta al  
 secondo piano  
 dell'edi- cio,  
 con frangisole  
 a lamelle  
 orizzontali**

sotto  
**Simulazione  
 illuminamento  
 e luminanza  
 di stanza posta  
 al terzo piano  
 dell'edificio,  
 con frangisole a  
 lamelle inclinate  
 di 22°**



*pagina a fronte  
 a sinistra*  
**Simulazioni  
 relative al  
 progetto  
 preliminare  
 il giorno  
 del solstizio  
 d'inverno sul  
 prospetto Est,  
 il giorno del  
 solstizio d'estate  
 sul prospetto  
 Ovest e il giorno  
 del solstizio  
 d'inverno sul  
 prospetto Ovest**

*a destra*  
**Evoluzione delle  
 tre ipotesi di  
 schermature in  
 facciata**

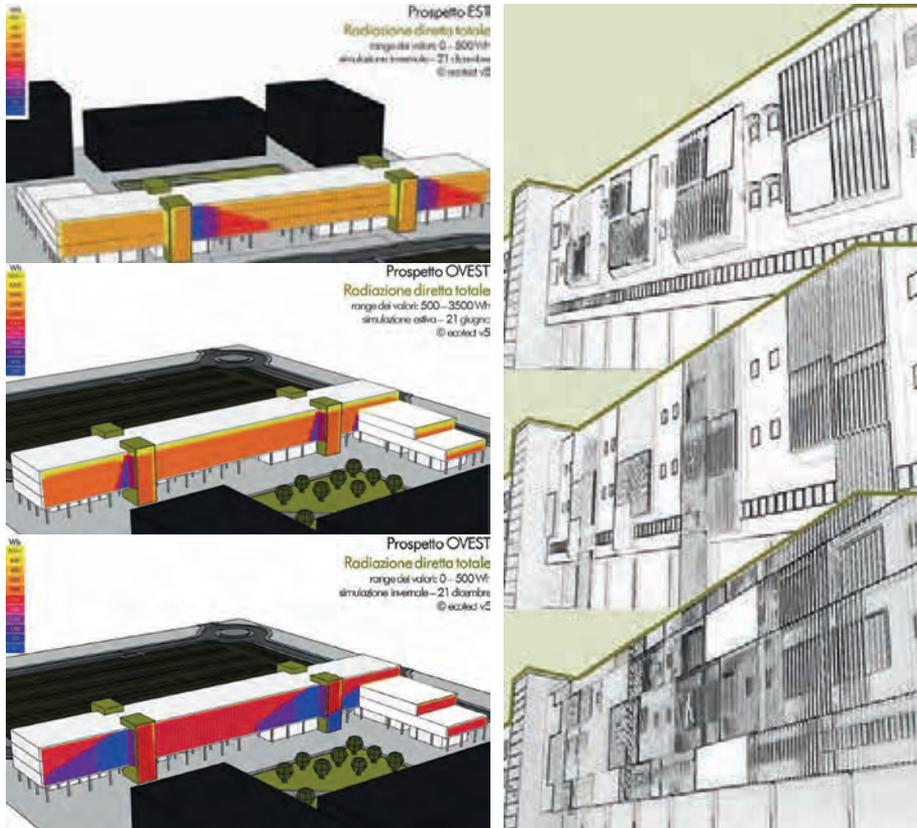
zione naturale nei mesi invernali (in cui i raggi solari hanno una inclinazione più bassa), e quindi quando se ne richiede maggiormente la necessità.

Dai valori numerici si evince che, grazie alla nuova ipotesi progettuale, si ha un aumento sia del fattore di illuminamento che, conseguentemente, di quello del fattore di luce diurna; anche se il tutto va a discapito in termini di uniformità luminosa, specie nella zona antistante l'infisso.

### Edificio ospedaliero a Orbetello

Il secondo lavoro proposto è incentrato anch'esso sul tema dell'ombreggiamento, realizzato attraverso schermature solari.

L'edificio in questione è un ospedale sito ad Orbetello, in Provincia di Grosseto, che risulta costituito da un unico corpo di fabbrica a forma di L, con il lato corto formato da



due terrazzamenti sugli ultimi due piani. Risulta evidente che i fronti principali e oggetto di studio sono il prospetto Est e quello Ovest.

Anche in questo caso studio, dall'analisi della geometria solare, effettuata tramite il software Ecotect, inserendo i dati climatici contestuali, si evince quella che è la variazione dell'altezza solare, passante dai 70° del solstizio d'estate (immagine al centro), ai 23° dell'equinozio d'inverno.

Vengono di seguito proposte quattro simulazioni energetiche effettuate sulle due facciate oggetto di studio (Est ed Ovest), analizzate sotto radiazione diretta, nei due solstizi: estivo ed invernale.

Come è possibile vedere dalle immagini soprastanti, si è pensato a tre tipi diversi di schermature: una soluzione a Bow-windows, con lamelle orientate verticalmente (per essere più efficaci nello schermare lungo le facciate Est ed Ovest), un sistema di schermature poste



*sopra*  
**Restituzione tridimensionale, prima ipotesi di schermature solari poste sulla facciata dell' ospedale di Orbetello**



*sotto*  
**Restituzione tridimensionale, seconda ipotesi di schermatura solare poste sulla facciata dell' ospedale**



di fronte alle sole degenze e, infine, un sistema a lamelle verticali orientabili, ma fisse rispetto alla posizione delle aperture.

L'evoluzione è stato il passaggio a una schermatura a pannelli mobili, con struttura in acciaio zincato verniciato e una maglia metallica in acciaio inox. Questa soluzione è frutto di una ottimizzazione delle dimensioni delle aperture e, quindi, della schermatura.

Tale sistema modulare, posizionato in corrispondenza degli infissi delle degenze e dei bagni, svolge la funzione di 'disegnare' la facciata, a seconda che i pannelli siano aperti o chiusi.

*pagina a fronte*  
**restituzione tridimensionale, terza ipotesi di schermature solari poste sulla facciata.**



Nelle immagini di fianco e in alto, è possibile notare l'evoluzione stilistico-architettonica delle tre ipotesi di schermatura e la resa grafica in 3D della terza, ritenuta più efficace.

Successivamente, anche in questo caso, si sono voluti analizzare gli effetti della schermatura proposta in termini di illuminamento e, di conseguenza, di daylight factor. Per far ciò sono state selezionate due degenze tipo, collocate a due piani differenti e con esposizione opposta: la prima al secondo piano lungo il prospetto Est, e la seconda posta al terzo piano lungo il prospetto Ovest.

In entrambe le simulazioni, è stato ipotizzato cielo coperto, secondo le norme CIE, e considerate sia la configurazione a pannelli chiusi (periodo estivo), che aperti (periodo invernale). Le superfici vetrate, comportano spesso, alle nostre latitudini, eccessivi carichi termici.

Questo lavoro ha voluto mettere in evidenza come le schermature, quando sono usate come elementi tecnologico-compositivi, riescano contemporaneamente a rappresentare una soluzione tecnica di grande efficacia e a caratterizzare un'architettura.

Se attentamente progettate infatti, in base a tutti i fattori incidenti nel contesto, possono rappresentare un vantaggio per il microclima interno, il comfort termico e visivo, mentre il costo aggiunto viene smorzato in brevi tempi, recuperandolo dalla diminuzione del fabbisogno di energia primaria.

Nella logica del controllo dell'afflusso di energia solare, i software di simulazione rappresentano, durante la fase progettuale, un elemento molto importante, perchè il confronto tra possibili soluzioni alternative e la valutazione della bontà delle ipotesi avanzate riceve, con questi strumenti, una validazione scientifica che permette di perseguire certe scelte controllandone, in qualsiasi momento, il risultato.

## Bibliografia

Alcamo G. (a cura di) 2007, *Illuminazione naturale e simulazioni energetiche* – coordinamento scientifico a cura di M. Sala –, Alinea Editrice, Perugia.

Ceccherini Nelli L. (a cura di) 2004, *Economia della sostenibilità*, Alinea, Firenze.

Ceccherini Nelli L., D' Audino E., Trombadore A. (a cura di) 2007, *Schermature solari*- Nuova edizione con in appendice schermature fotovoltaiche, Alinea Editrice, Firenze.

Gallo P. (a cura di) 2004, *Progettazione Sostenibile*, Alinea, Firenze.

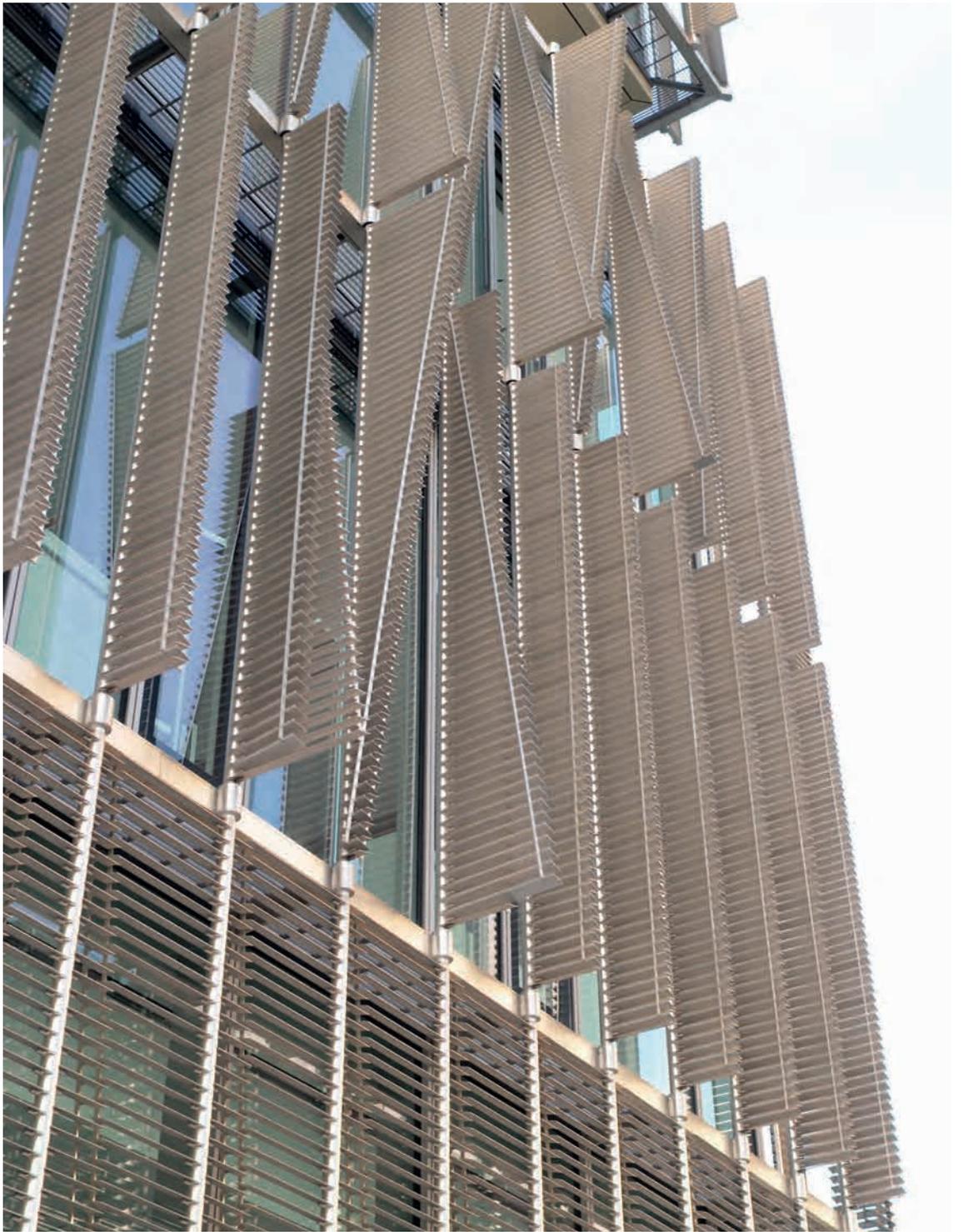
Grosso M. 2005, *Progettazione ecocompatibile dell'architettura: concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi: energia, edifici, spazi esterni, suolo e materiali*, Sistemi Editoriali, Napoli.

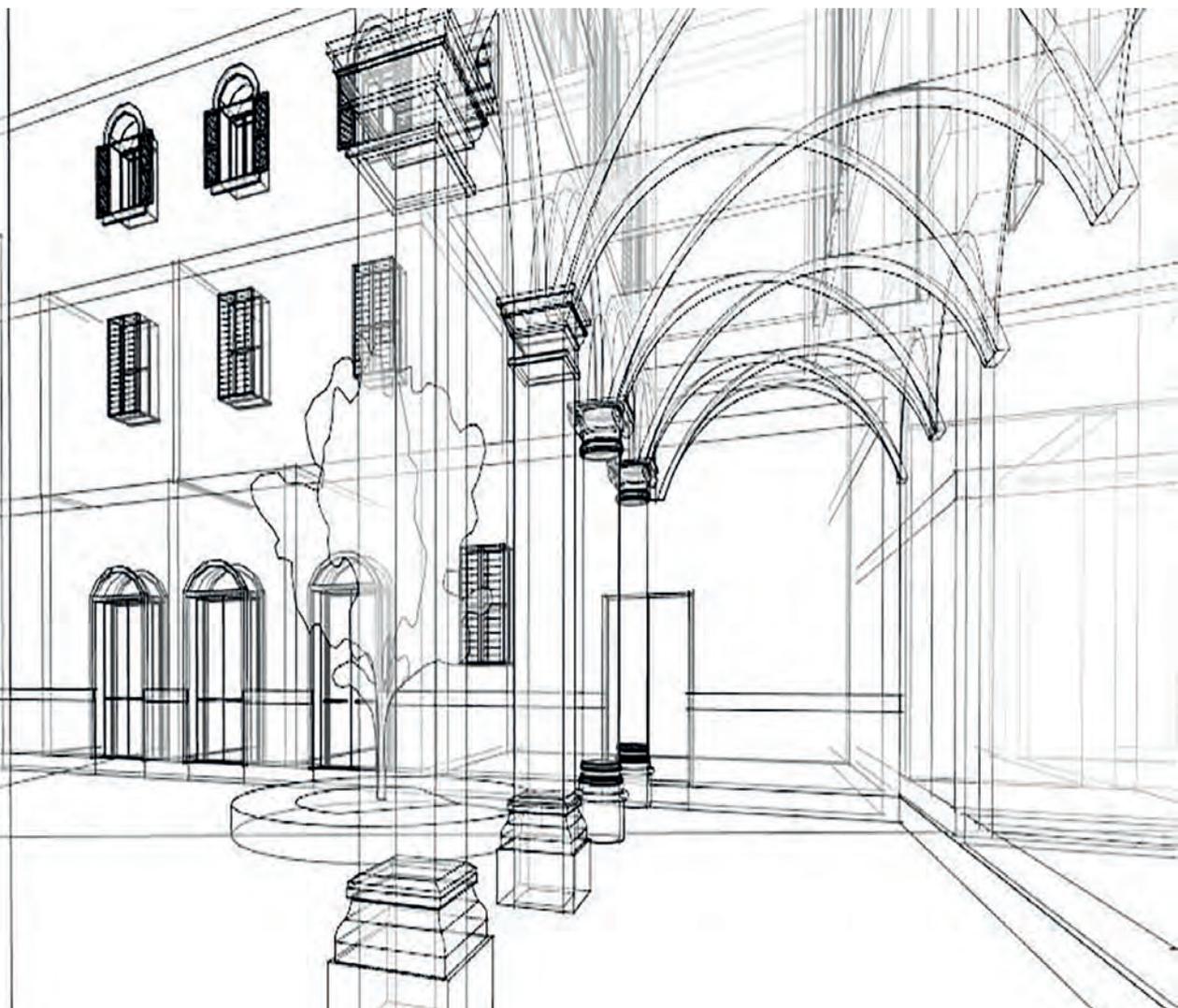
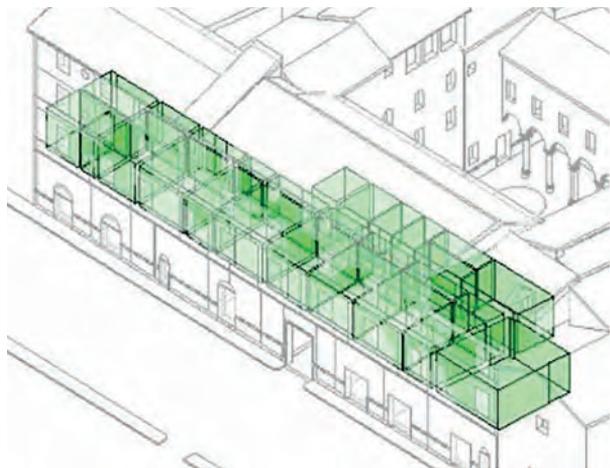
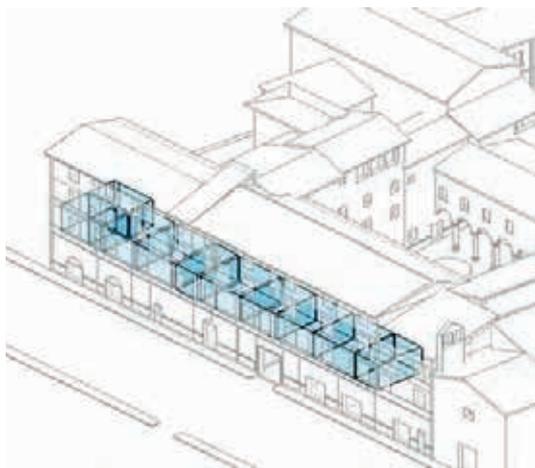
Grosso M., Raimondo L., Parisi E., Simonetti M., Dell' Anna F., Cassiba M. 2008, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, San Marino.

Sala M., Torricelli C., Secchi S. 1995, *Daylight, la luce del giorno*, Alinea, Firenze.

Sala M. (a cura di) 2001, *Recupero Edilizio e Bioclimatica*, Simone Esselibri, Napoli.

Sala M. (a cura di) 2004, *Atti del Convegno Nazionale 'I Percorsi della Progettazione per la sostenibilità ambientale'*, Alinea, Firenze.





---

# IL BIM COME STRUMENTO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



sopra a sinistra  
Esportazione  
del modello  
energetico  
a masse  
concettuali in  
formato green  
Building XML,

con indicazione  
dei locali

sopra a destra  
esportazione  
del modello  
energetico  
a masse  
concettuali in  
formato green  
Building XML,

con indicazione  
dei vani

sotto  
restituzione  
tridimensionale  
del complesso  
architettonico

Pio X  
Artigianelli,  
attraverso Bim  
Revit

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Arch. M.

Di Palermo,  
A.A. 2015/16,  
Relatori:

Prof. Arch. L.  
Ceccherini Nelli,  
Ing. V. Donato

Il rinnovato interesse per il recupero del costruito, a fronte di un miglioramento delle prestazioni energetiche, porta con sé diverse problematiche negli edifici storici, in quanto sottoposti a vari ostacoli e limitazioni. Nel tentativo di trovare la soluzione ideale per ogni caso particolare, la tecnologia BIM (Building Information Modeling), riesce a dare risposte efficaci e innovative.

Con specifico riferimento agli edifici storici, ma non solo, la Comunità Scientifica Internazionale si occupa da alcuni anni di Historic Building Information Modeling (HBIM), proponendo metodi, approcci e programmi informatici ritagliati sulle necessità di quanto già edificato. Il MiBACT, attraverso le 'Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale', intende indicare la metodologia procedurale ai fini del miglioramento dell'efficienza energetica per il patrimonio culturale, articolandola su tre punti fondamentali: conoscenza dei contesti, valutazione dell'efficienza energetica e miglioramento della stessa.

Ognuno dei punti sopra citati si sviluppa attraverso vari passaggi, che indicano la metodologia da seguire; la conoscenza dei contesti si sviluppa quindi attraverso un'analisi dei caratteri propri dell'edilizia storica, tramite la lettura degli interventi e il rilievo geometrico e dei materiali, passando per la valutazione della qualità ambientale e dell'analisi impiantistica.

Il lavoro proposto si occupa di elaborare, attraverso la tecnologia Bim, un edificio storico sito nel cuore di Firenze, il complesso architettonico 'Pio X Artigianelli'. Attraverso la modellazione, prima a 'masse concettuali' e poi per 'elementi edilizi', si giunge ad una analisi energetica ragionata.

Per il professionista che si accinge all'uso di questa tecnologia, è importante saper fare un distinguo tra le criticità e i punti di forza insiti nella metodologia Bim.

## Il BIM e HBIM

Nodo fondamentale, e punto di partenza per svolgere una corretta analisi delle caratteristiche dell'edificio ai fini della valutazione di eventuali interventi, è la conoscenza del contesto.

La conoscenza delle caratteristiche dell'immobile storico è il punto di partenza per un corretto intervento, e passa da un'approfondita diagnosi delle caratteristiche storiche, materiche, artistiche ed energetiche. Una corretta prassi operativa prevede l'integrazione tra tecniche di restauro conservativo, diagnosi energetica, valutazione prestazionale e analisi del comfort, al fine di restituire una visione complessiva dello stato di conservazione dell'immobile. Si tratta di una 'procedura sistematica' che si compone di quattro fasi: la prima prevede la raccolta, attraverso un rilievo geometrico, delle informazioni relative agli aspetti edilizi, impiantistici e gestionali per identificare gli elementi sui quali concentrare le indagini più approfondite, nonché indagini termografiche ad infrarossi delle informazioni termofisiche dell'immobile. Secondo passaggio è la realizzazione di un modello digitale dell'edificio oggetto di analisi; il terzo consiste nell'individuazione degli interventi migliorativi più opportuni per risolvere i problemi spaziali, funzionali, energetici e gestionali; infine, come quarto momento, la valutazione tecnica ed economica della fattibilità degli interventi proposti.

Attualmente esistono molti software capaci di analizzare il comportamento energetico di un immobile.

Le procedure attualmente in uso si basano su due modalità distinte di calcolo: calcolo in regime quasi stazionario, effettuato su base mensile o stagionale, e calcolo in regime dinamico. In regime dinamico, vengono considerati intervalli di tempo brevi, al fine di tenere conto del calore accumulato e rilasciato dalla massa dell'edificio. Questi software sono basati su un approccio integrato volto a valutare l'intero sistema edificio-impianto, dal punto di vista costruttivo e gestionale.

Nell'ottica della acquisizione e gestione di una mole di informazioni non indifferente, si configura la tecnologia BIM. Il BIM è in grado di gestire tutte le diverse informazioni relative a un edificio, da geometria, relazioni dello spazio, prestazioni energetiche, prestazioni di illuminazione ed acustiche, informazioni geografiche, quantità e proprietà dei componenti costruttivi, fino al project management a al facility management di post-costruzione. Da alcuni anni si è iniziato a parlare di Historic Building Information Modeling, proprio a sottolineare il rapporto stretto che esiste tra il processo, lo strumento e il costruito, anche di pregio.

Se da un lato il BIM aiuta a coordinare le diverse figure del processo edilizio, così da pianificarne la realizzazione e computarne le quantità per il cantiere, l'HBIM si concentra invece sul rilievo, sulla definizione dello stato di conservazione dei luoghi e dei materiali, per meglio pianificarne interventi consapevoli. Il rilievo degli edifici storici e dei loro elementi costituenti richiede infatti metodi di acquisizione in grado di descrivere

ogni singolo dettaglio in maniera efficace, senza scegliere arbitrariamente l'informazione da registrare. I prodotti del rilievo rappresentano un importante strumento di conoscenza e supporto per le analisi tematiche e per le investigazioni diagnostiche sugli edifici; costituiscono una sorta di 'indice dei contenuti'. Il BIM riveste un ruolo centrale nella gestione dell'intero processo di simulazione energetica.

## **Il BIM nell'analisi energetica**

Strumenti di calcolo come la piattaforma online Autodesk Green Building Studio, permettono l'esportazione del modello caricandolo direttamente dal software BIM di Revit che, oltre al modello 3D dell'edificio, contiene altre informazioni, quali le stratigrafie degli elementi edilizi con le relative caratteristiche termiche, e l'esportazione nel formato .gbXM.

In un tale panorama risulta chiaro come il progettista debba tener conto di tutti gli elementi connessi al fabbisogno energetico di un edificio. Per questo motivo è indispensabile, all'interno di un approccio integrato alla progettazione, utilizzare lo strumento BIM e la possibilità che offre di interoperare con strumenti di simulazione energetica. Il procedimento, che andrebbe implementato durante la fase meta-progettuale, richiede molto tempo se non fatto correttamente e se rimandato alle fasi finali.

Nel caso delle costruzioni esistenti, i vincoli sono numerosi ed i margini decisionali per la riduzione del consumo energetico sono spesso inferiori. In ogni caso, l'approccio integrato necessita di una stretta collaborazione tra i membri del team di progetto (architetti, ingegneri meccanici, consulenti energetici, ecc.), per correlare il modello BIM ed il cosiddetto Energy Analysis Model (EAM).

Il modello semplificante i due precedenti è denominato BEM (Building Energy Model), ed è il risultato di tre passaggi principali: ubicazione del progetto e determinazione dei carichi esterni in base al clima del sito; determinazione dell'involucro edilizio e delle partizioni verticali/orizzontali degli ambienti; determinazione dei volumi degli ambienti climatizzati e non. Una volta creato il modello BEM completo di tutte le informazioni necessarie, questo viene esportato in un software di analisi energetica.

L'approccio alla modellazione digitale di un complesso architettonico segue diverse fasi e livelli.

## **Caso Studio: Istituto Pio X Artigianelli**

Il complesso architettonico Pio X Artigianelli sito a Firenze, in pieno centro storico, ha origine quale convento della vicina chiesa di 'Sant'Elisabetta delle Convertite', fondata nel 1330. Nei secoli successivi furono eseguiti numerosi lavori di ampliamento e trasformazione, i più



*sopra*  
aero-  
fotogrammetria  
del complesso  
Pio X Artigianelli



*a destra*  
uno dei portici  
con copertura a  
volta a crociera



*sotto*  
ingresso  
principale del  
complesso

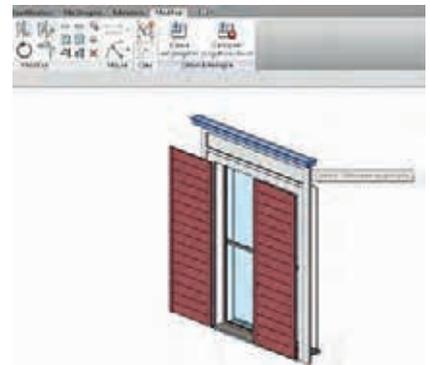
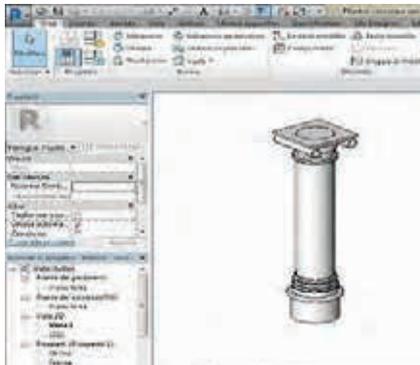


consistenti dei quali nel corso del Seicento. Nei primi anni del 1900 il complesso andò ad ospitare la scuola per bambini poveri e si intervenne con estese opere di ristrutturazione, finalizzate a rendere la struttura più consona al nuovo uso: furono create più di trenta piccole officine, e nel 1904 il complesso fu arricchito con la creazione di un piccolo teatro e di una scuola elementare.

Nel 1912 la chiesa fu sottoposta ad operazioni di restauro, con interventi impostati sulla rilettura dell'edificio quattrocentesco e conseguente eliminazione delle aggiunte seicentesche. Un nuovo intervento di restauro avvenne intorno al 1995 interessando la chiesa, il campanile e le facciate. Attualmente, tutto il complesso è sottoposto a vincolo architettonico e tutela nell'ambito del Piano Strategico per il Centro storico di Firenze. Il complesso architettonico si presenta come un insieme di volumi con diverse elevazioni fuori terra e di corpi disposti intorno a due corti. La corte principale, alla quale si accede dall'ingresso sul fronte, è di forma quadrangolare e dalle dimensioni irregolari, mentre la seconda corte è di forma rettangolare e vi si accede dall'interno del complesso stesso. L'ingresso alla corte principale si trova sul fronte prospiciente via dei Serragli, ed è costituito da un passaggio coperto con volta a botte a croce. Di particolare interesse il portico, anch'esso coperto a volta a croce; attraverso quest'ultimo si accede alla seconda corte, dove sono presenti fabbricati di più recente costruzione e con caratteristiche e peculiarità diverse rispetto ai fabbricati presenti intorno alla prima corte dalla vocazione conventuale.

*pagina a fronte*  
*sopra*  
restituzione  
tridimensionale  
del modello  
a masse  
concettuali

*sotto*  
definizione  
di elementi  
costruttivi,  
quali colonne e  
finestre, a partire  
dalle 'famiglie'  
di Revit



## Modellazione

In primo luogo, si è proceduto con la ricognizione del materiale di rilievo geometrico e di informazione sulle caratteristiche fisico-geometriche dell'edificio. Una volta effettuata l'importazione degli elaborati di base, si è passati alla prima fase di modellazione di primo livello. La prima fase prevede infatti una modellazione di tipo 'concettuale', per delineare le geometrie del modello dell'edificio.

Già in questa fase vengono introdotte le informazioni più specifiche, quali caratteristiche, aspetto, comportamento fisico e termico dei materiali componenti. Tutti gli elementi costruttivi si presentano raggruppati in famiglie, all'interno delle quali sono presenti tipi diversi dello stesso elemento. Ciò permette di avere una gestione semplificata e immediata di tutti gli elementi.

Terminata la fase di delineazione dei volumi e degli spazi si passa ad 'arricchire' il modello di dettagli costruttivi. Si procede quindi al posizionamento di elementi di apertura; in que-

sta fase la complessità del modello aumenta in proporzione al grado di dettaglio. Infatti come per gli elementi d'involucro, anche oggetti come finestre e porte, contengono le informazioni dello stesso tipo.

Nel caso di un edificio storico, si è proceduto a creare 'ad hoc' gli elementi che fanno parte dell'edificio storico. Un esempio possono essere le finestre o le colonne del portico nella corte principale.

Una volta che il modello contiene tutte le informazioni possibili sull'edificio, si ricorre allo strumento dell'analisi energetica applicata al modello BIM.

Le metodologie per procedere con l'analisi energetica sono principalmente due: l'analisi del modello a masse concettuali e l'analisi per elementi costruttivi.

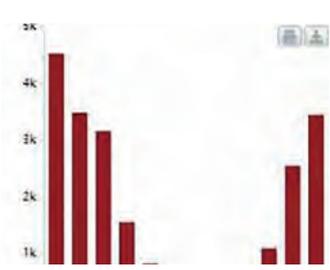
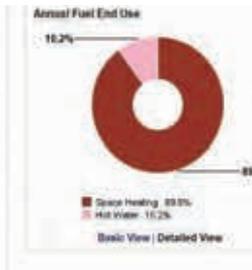
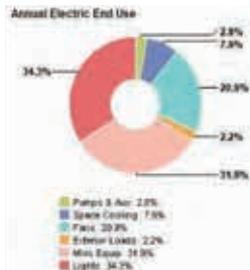
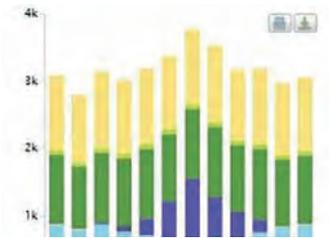
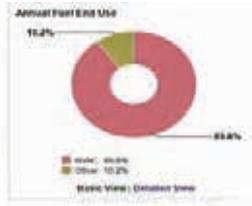
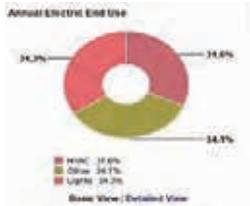
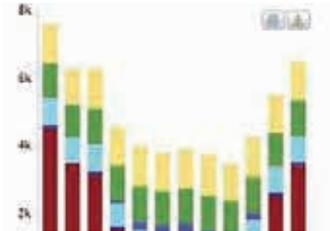
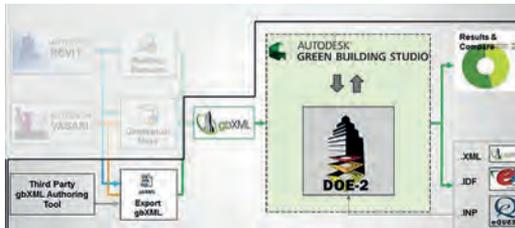
### **Analisi energetica**

Nel modello a masse concettuali viene ricreato un modello semplificato dell'edificio, dove ogni ambiente è semplificato come un volume al quale viene assegnato un utilizzo specifico, il tipo di impianto e per ogni superficie viene assegnata la percentuale di superficie vetrata. A questo punto si procede all'esportazione del file di modello energetico, in formato 'green Building XML' e si procede alla scelta della tipologia di modello da esportare. In questa fase si può specificare ulteriormente la caratteristica del modello energetico.

Terminato il processo di esportazione, il file viene caricato sul servizio di analisi in cloud G.B.S. Il servizio in cloud, quindi, permette di gestire una serie di caratteristiche proprie dell'edificio e del modello. A questo punto si può lanciare l'analisi e attendere la produzione dei risultati. In molti le informazioni riguardanti il patrimonio immobiliare storico, sono poco attendibili, specialmente per quel che concerne l'involucro. I dati relativi alle caratteristiche e alle prestazioni termo-fisiche del sistema edificio-impianto devono essere misurati attraverso indagini diagnostiche da effettuare direttamente sul bene, e il loro reperimento non può essere esclusivo esito di consulto di dati presenti in letteratura, in quanto, spesso, neppure le analisi diagnostiche strumentali possono essere di aiuto nel reperimento di tutti i dati.

La modellazione dinamica è strumento di confronto tra due scenari progettuali, al fine di definire i benefici legati a ciascuna tecnologia rispetto al fabbisogno energetico dell'immobile.

Da un lato, le tecniche e le procedure di diagnostica energetica hanno raggiunto ormai livelli molto avanzati, dall'altro, la simulazione dinamica richiede approfondimenti ulteriori, con l'elaborazione di banche dati specifiche per il patrimonio storico e di modelli in grado di simulare l'inerzia termica delle pareti e la ventilazione tipica di un immobile storico.



Sopra a sinistra  
 Caricamento del file .gbXML sul servizio di analisi in cloud GBS

al centro a sinistra

Grafico a ciambella relativa al consumo annuale di energia, elaborazione tramite GBS.

sotto a sinistra, grafico a ciambella relativa al consumo annuale di energia, elaborazione tramite GBS

a destra

Grafici sull'andamento mensile dei consumi energetici relativi rispettivamente a: energia totale, elettricità e gas; elaborazione tramite GBS

*pagina a fronte  
vista Scuola Pio  
X Artigianelli  
Firenze*  
Google earth

## **Bibliografia**

- Brigliadori V. 2014, *Fare efficienza energetica negli edifici storici*, <<http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/>> (06/2017), Cobat, Roma.
- Carbonara G. 2001, *Restauro architettonico e impianti*, UTET, Torino.
- Cerroni F. 2010, *Progettare il costruito: tecnologie per la riqualificazione sostenibile dei siti ad elevata qualità storica e ambientale*, Gangemi, Roma.
- Dall'O' G. (a cura di) 2003, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- D'amico C. 2006, *Innovazioni tecnologiche per i beni culturali in Italia*, in Atti del convegno di Caserta, Patron Editore, Bologna.
- Dall'O' G. 2000, *Evoluzione storica degli impianti nell'architettura*, UTET, Torino.
- Garagnani S. 2015, *HBIM nell'esistente storico – Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, <<https://www.ingenio-web.it/>> (06/2017).
- Gasparoli P. 2006, *Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea, Firenze.
- Ientile R. 2001, *Per un consolidamento consapevole dei beni architettonici*, Torino, Celid.
- Lucchi E., *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Magarotto E. 2010, *Tecnologie innovative per la valorizzazione dei beni culturali*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna.
- Marston Fitch J. 1982, *Historic Preservation: curatorial management of the built world*, University of Virginia Press, Charlottesville.





---

# LA SIMULAZIONE ENERGETICA DINAMICA TRAMITE MODELLAZIONE BIM. CASO STUDIO: EX-LANIFICIO DI STIA (AR)

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



sopra  
vista dell'  
Ex-Lanificio  
di Stia  
veduta del  
complesso  
industriale,  
prima  
metà del  
novecento

sotto  
vista  
panoramica  
dello stato  
di fatto del  
complesso  
edilizio

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Ing. V.  
Vezzosi, A.A.  
2015/16,

Relatori:  
Prof. Arch.  
L. Ceccherini  
Nelli, Ing. V.  
Donato

Il lavoro proposto riguarda, da un punto di vista teorico e poi pratico (attraverso un caso studio), l'adozione di strumenti BIM nei diversi aspetti della progettazione sostenibile, ed il loro utilizzo negli studi solari, nell'analisi energetica e nella simulazione energetica dinamica. E' stato perseguito un duplice obiettivo: in primis, uno studio di interoperabilità tra il software BIM Revit Architecture e il software per le analisi energetiche Design Builder, al fine di comprendere vantaggi e svantaggi dell'utilizzo interdisciplinare di entrambi; in secundis, applicare questo approccio metodologico ad un progetto reale.

Il caso studio in questione è il progetto di riqualificazione di un edificio appartenente all'ex Lanificio di Stia (AR).

L'obiettivo è stato quello di comparare analisi energetiche effettuate tramite il plugin Green Building studio di Revit, con analisi energetiche effettuate tramite Design Builder, software dedito propriamente alle simulazioni energetiche. Espressamente, con quest'ultimo strumento, si son potute sviluppare soluzioni progettuali di riqualificazione complessiva dell'edificio reale. Successivamente si è analizzato e approfondito il comportamento termico dello stesso allo stato di fatto e poi di progetto, creando modelli energetici ad hoc sia per lo studio di interoperabilità e comparazione tra i software che per le scelte progettuali di riqualificazione, incentrate soprattutto sull'involucro, attraverso simulazione energetica dinamica.

Il presente lavoro ha elaborato modelli nel software BIM Revit-Architecture, per poi andarne ad analizzare il comportamento energetico con applicazioni BIM quali Green Building Studio e, attraverso il formato gbXML, analisi energetiche più dettagliate con Design Builder, interfaccia grafica di Energy Plus.

L'edificio oggetto di riqualificazione, che fa parte di un complesso di edifici appartenenti all'ex Lanificio di Stia, in provincia di Arezzo, risalente all'epoca medioevale, viene denominato il 'Terrazzone' per la sua caratteristica copertura piana a terrazza, dove all'epoca in cui il lanificio era in attività venivano stesi i panni di lana ad asciugare dopo la lavorazione.

Il complesso, che si compone di quattro differenti fabbricati assoggettati nel 2007 a vincolo da parte della Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici della Provincia di Arezzo,



sopra a sinistra  
vista del  
complesso  
del Lanificio,  
passaggio  
interposto tra la  
parte retrostante  
l'edificio  
dell'Orologio  
e l'ex fabbrica  
Beni.



sopra a destra  
vista del  
complesso del  
Lanificio, Piazza  
superiore,  
Collegamento  
tra l'edificio il  
Terrazzone e  
la ex  
fabbrica Beni.



sotto a sinistra  
vista interna  
dell'edificio 'Il  
Terrazzone'



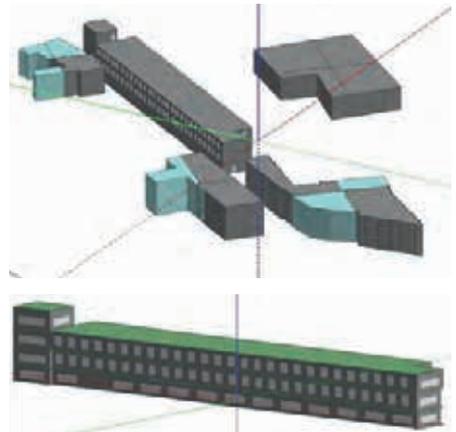
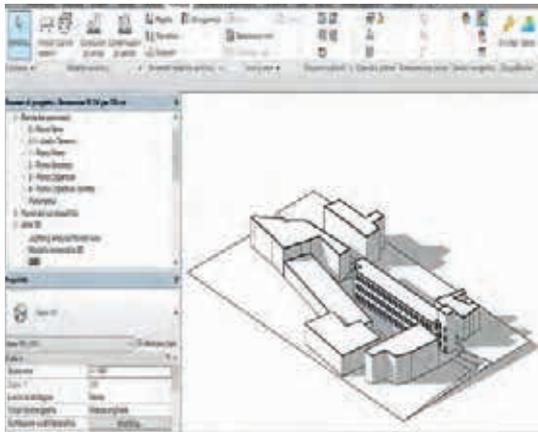
sotto a destra  
vista del  
complesso del  
Lanificio, Piazza  
superiore, la  
parte retrostante  
l'edificio  
dell'Orologio e  
l'ultimo piano  
della fabbrica  
Ricci con  
copertura a volta



si estende per una superficie di 23.000 m<sup>2</sup> e un volume di 60.000 m<sup>3</sup>, dislocati e interconnessi tra loro in modo articolato intorno a due piazze principali: quella di ingresso al complesso lungo il torrente, e il piazzale interno baricentrico, dove si affaccia l'edificio oggetto di questo studio.

Il "Terrazzone", nato nel 1898, si presenta oggi come una lunga stecca (10 x 78 m), su tre livelli. La copertura piana adibita a terrazza, ne caratterizza il profilo rispetto alle tradizionali coperture a capriate e falde degli edifici circostanti. Le pareti perimetrali sono costituite da una muratura portante in pietra prevalentemente arenaria, con bozze squadrate a vista lungo i fronti esterni e aperture delineate da mazzette e architravi (archi a sesto ribassato) in mattoni a vista. La muratura, ad ogni piano, presenta un notevole numero di aperture, ogni 90 cm. Esternamente, la serialità compositiva dei principali elementi architettonici richiama i tipici opifici ottocenteschi inglesi, mentre all'interno lo spazio risulta completamente libero, fatta eccezione per la presenza di una fila di 12 colonne in ghisa che sorreggono i solai, costituiti da voltine in laterizio e putrelle in acciaio.

Nel complesso la struttura è massiva, in quanto originariamente progettata per sostenere il peso e l'azione dinamica dei telai e degli altri macchinari di lavorazione della lana.



sopra a sinistra

**Revit, vista 3D modello completo del caso studio**

sopra a destra

**Design Builder, modello 3D di Revit importato in Design Builder**

sotto a destra

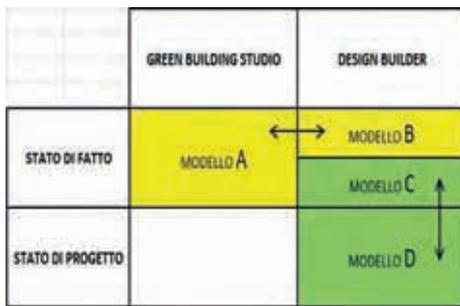
**Design Builder, modello BIM di Revit importato con impostazione 'include shade surfaces'**

## **Modellazione energetica e architettonico-tecnologica**

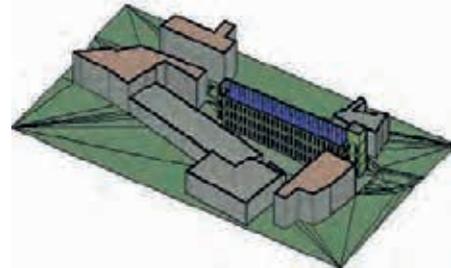
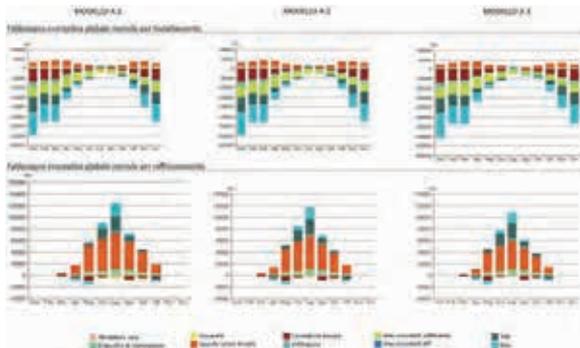
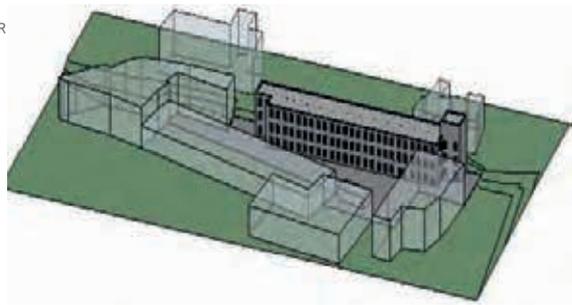
A partire dall'edificio reale, sono stati creati dei modelli energetici al fine di perseguire il duplice obiettivo di confrontare tra differenti tipologie di modellazione a partire dagli stessi dati di input (analisi in Green Building Studio a confronto con analisi in Design Builder), e riqualificare l'edificio con l'ausilio della simulazione dinamica in Design Builder.

Sono dunque stati creati il Modello B, che ha gli stessi input del Modello A, e il Modello C, che invece rispetta l'effettivo stato di fatto del caso studio. Gli elementi edilizi del caso studio sono stati analizzati tramite il software Termus-G e sulla base di questi è stato poi modellato l'edificio in Revit, rispettando stratigrafie e parametri termici. Al fine di realizzare un modello BIM per il passaggio ad un modello BEM, occorre modellare l'edificio in Revit, vista 3D modello completo del caso studio. Design Builder, modello 3D di Revit importato in Design Builder. Design Builder, modello BIM di Revit importato con impostazione 'include shade surfaces'. È essenziale, per evitare errori in fase di importazione. La definizione delle condizioni al contorno dei dati climatici avviene tramite il settaggio della localizzazione e l'orientamento; gli edifici circostanti l'edificio sono stati modellati come volumi, al fine di un'attendibile e realistica analisi delle ombre.

Allo stato di fatto, il "Terrazzone" si presenta come un edificio dismesso, quindi senza una specifica destinazione d'uso e senza un impianto di climatizzazione. È per questo che si è



ER



↑  
*sopra a sinistra*  
**matrice dei  
modelli  
analizzati e  
realizzati**

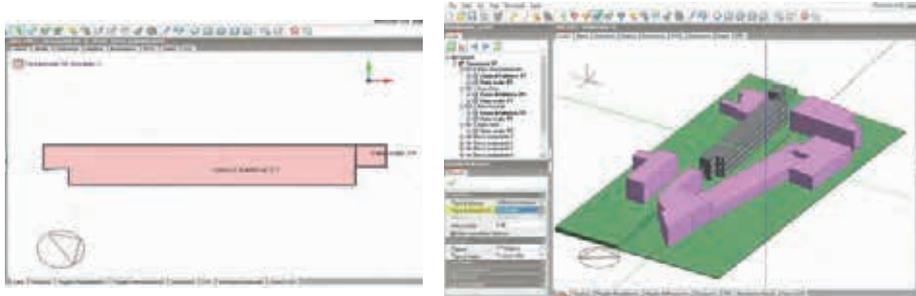
*sopra a destra*  
**terrazzone  
con contesto  
modellato  
a masse  
concettuali**

*sotto a destra*  
**terrazzone  
con contesto  
modellato ad  
elementi edilizi**

scelto di attribuirgli una destinazione d'uso a 'magazzino', andando a porre pari a zero tutti i possibili apporti interni; successivamente sono state definite le 'impostazioni energetiche'. Una volta modellato il caso studio, è necessario andare a modellare gli edifici che appartengono al contesto. Revit permette di modellare in modo veloce dei volumi, attribuendogli una determinata altezza ed una determinata estensione planimetrica. Si può quindi utilizzare il comando 'masse concettuali', che in un secondo momento può essere dettagliato attraverso la definizione degli elementi edilizi. Si sono quindi costruiti due modelli, che si diversificano appunto per il modo di definire gli edifici circostanti a quello in esame (di cui è stata effettuata l'analisi energetica), e messi a confronto i risultati, al fine di comprendere come il software di analisi dinamica in icloud G.B.S. consideri tali volumi, e di conseguenza quale tra le due opzioni sia la più idonea.

Questi due modelli sono stati poi messi a confronto con quello del 'Terrazzone' isolato, che è poi il modello BIM utilizzato per l'importazione su Design Builder. Di questi è stata effettuata l'analisi energetica dinamica con Green Building Studio, che utilizza come solutore DOE-2.

Il trasferimento di calore tra due ambienti con diversa temperatura è valutato con il cosiddetto 'weight factor method', che tiene conto degli effetti capacitativi della massa termica. In una fase successiva i risultati ottenuti vengono utilizzati come input per valutare i fabbisogni energetici, compatibilmente con il sistema impiantistico previsto.



**Design Builder**, definizione locali del piano tipo dell'edificio in esame  
a destra

**Design Builder**, modello completo, edificio caso studio e contesto comprensivo di terreno e edifici circostanti

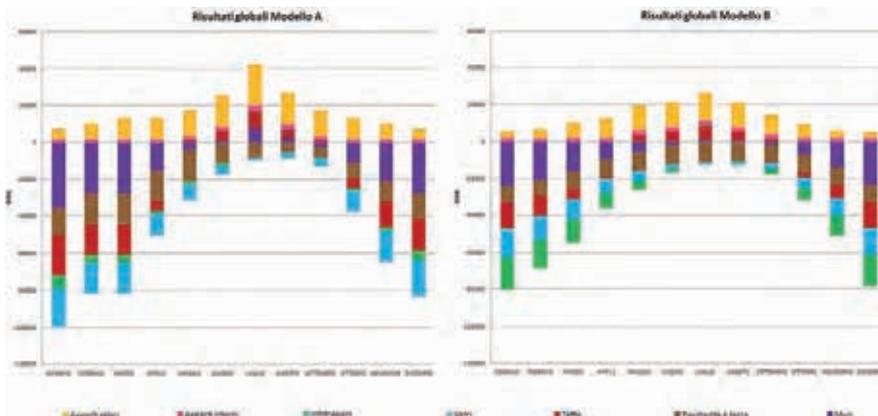
Dai risultati ottenuti con l'analisi energetica effettuata con G.B.S., si evince che la modellazione del contesto, sia a masse concettuali che ad elementi edilizi finiti, non è rilevante, perché i carichi termici risultano allineati; si nota comunque che, per quanto riguarda il carico di raffrescamento, il Modello A.3 sottostima e il Modello A.1 sovrastima lo scambio termico attraverso l'involucro rispetto alla media, e viceversa per quanto riguarda il carico di riscaldamento.

Date le considerazioni esposte, per il confronto con il modello energetico di Design Builder si utilizza il Modello A.3, in quanto il più completo, oltretutto conforme al criterio di analisi climatica adottato. In alto alla pagina si riportano i grafici più significativi estrapolati dai risultati dell'analisi energetica effettuata con G.B.S.. Nel modello energetico è necessario definire: località, coordinate geografiche, dati climatici, e dettagli geomorfologici del luogo (quota sul livello del mare, l'esposizione al vento, le caratteristiche del terreno e le relative temperature mensili e precipitazioni).

Modellato il contesto, sono stati estrusi i volumi degli edifici circostanti come 'blocco componente standard', ed il terreno, che è stato definito su due livelli (dato che il piano terra è seminterrato), come 'blocco componente terreno'. Il programma, in automatico, è in grado di interpretare se un determinato pavimento o parete sono a contatto con il terreno. Nel caso specifico il terreno è stato modellato come blocco 'terreno' adiacente alla parete posteriore del piano terra. Design Builder riconosce tale adiacenza. L'edificio, che si eleva su tre livelli, è stato suddiviso in due locali-zone termiche per livello: una, relativa al corpo di fabbrica e l'altra, relativa al vano scala che si trova nella torretta. Non riconoscendo il vano scale, sono stati creati ai vari piani corrispondenti dei fori nei solai, e ad essi è stata attribuita una massa termica che corrisponde per materiale e area alla scala stessa. In questo modo il modello energetico tiene conto della reale massa dell'edificio, aspetto non trascurabile ai fini dell'af-



### In alto risultati globali dei modelli A e B



fidabilità della simulazione. Le impostazioni descritte coincidono nel Modello B e nel Modello C, nell'analisi allo stato di fatto. Ciò che li differenzia è il fatto che il Modello C corrisponde alla realtà del caso studio, in quanto inoccupato, con nessun apporto interno impostato e nessun impianto di climatizzazione in funzione.

Nel Modello B è stato ricreato invece l'allineamento con il Modello A, al fine di comparare i due tipi di analisi, basandosi sulle limitate informazioni che si riesce a reperire da Green Building Studio.

### Analisi e confronto dei risultati

Nel Modello B, l'andamento della temperatura è coerente con la presenza di un impianto, che si attiva ogni qualvolta si superino le temperature di setpoint. Riguardo al comportamento dell'involucro, l'andamento delle curve relative a pareti esterne, vetri, infiltrazione esterna e copertura, è simile perché il flusso termico ha la stessa direzione media sia in estate che in inverno.

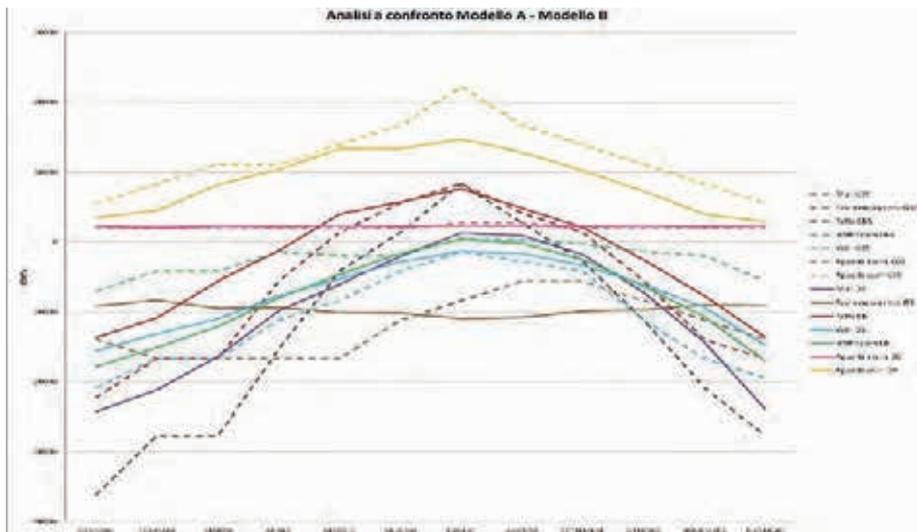
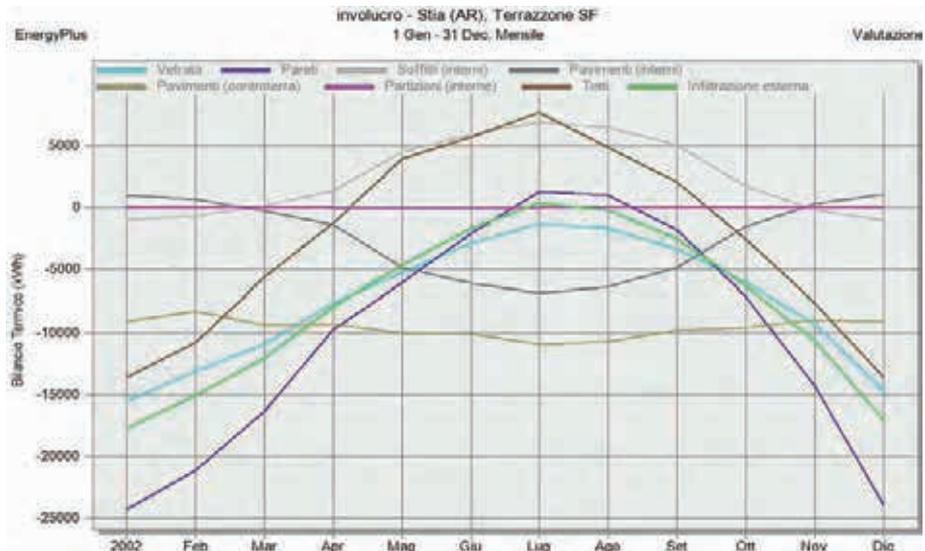
*pagina a fronte sopra*  
analisi di confronto tra Modello A e Modello B

Per quanto riguarda il terreno, esso è stato modellato in forma semplificata, e vi è stata attribuita una temperatura costante pari alla media annuale della temperatura esterna.

*sotto*  
Design Builder, grafico andamento delle temperature dell'involucro

Al fine di una comparazione attendibile tra più risultati, è necessario che i dati di input siano allineati tra loro; per questo motivo, sono stati realizzati due distinti modelli B e C in Design Builder. Tuttavia ciò ha consentito di allineare solamente apporti interni e impianti di climatizzazione.

L'individuazione dei dati climatici in Design Builder è diretta funzione delle rilevazioni meteo in prossimità del luogo in cui si trova l'edificio in analisi; invece in Green Bul-



ding Studio tale individuazione è affidata alle sole coordinate geografiche della località. Non essendo possibile estrapolare dal modello di Green Building Studio gli effettivi valori di temperatura esterna ed irradiazione solare utilizzati nel calcolo, non è possibile stimare l'effetto che il disallineamento tra dati climatici produce.

Al di là dei singoli componenti, è opportuno considerare il comportamento globale dell'edi-

*pagina a fronte sopra*  
**Design Builder, definizione dei locali, pianta del piano primo del Modello D**

*sotto a sinistra*  
**Design Builder, 'comfort', andamento delle temperature del Modello D**

*sotto a destra*  
**Design Builder, 'comfort', andamento delle temperature nel vano scala del Modello D.**

ficio perché, essendo Green Building Studio uno strumento di analisi speditivo, c'è il rischio che venga utilizzato senza i necessari accorgimenti, andando a leggere i soli effetti globali del sistema, senza approfondire gli effetti degli specifici componenti.

Il Modello C rappresenta il caso in cui l'edificio è non utilizzato, sottoposto quindi alla sola azione esterna del contesto climatico.

Il progetto di riqualificazione prevede che l'edificio il "Terrazzone" venga utilizzato come spazio turistico-ricettivo tipo ostello. Al fine di progettare in modo consapevole, dal momento che il fabbricato in esame si sviluppa principalmente lungo l'asse lungo, si è pensato ad una organizzazione distributiva su tre fasce parallele, destinando la centrale ai percorsi orizzontali e le laterali alle funzioni principali.

Alla scala esistente, situata nella torretta dell'edificio all'estremità nord, ne è stata affiancata un'altra all'estremità opposta, rispondendo alle esigenze di prevenzione incendi. Il piano terra, direttamente accessibile dalla piazza centrale dello stabilimento, è stato destinato a funzioni quali reception, sala congressi e un'area polifunzionale. Si è colta l'opportunità di riproporre la copertura piana a terrazza come luogo fruibile, oltreché panoramico sulla vallata casentinese. Per la realizzazione di partizioni interne e tramezzature è stata scelta la tecnologia stratificata a secco, mentre per i servizi igienici si è preferito ricorrere alla tecnologia a blocco preassemblato.

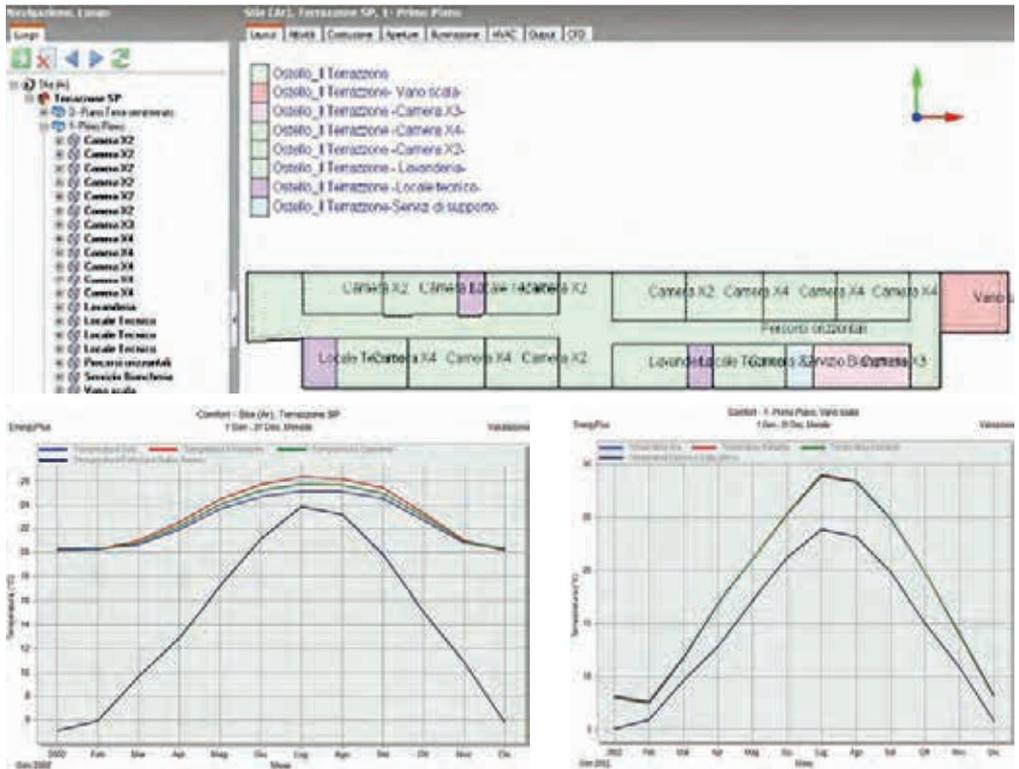
La riqualificazione energetica dell'involucro è stato realizzata con un isolamento termico in pannelli di fibra di legno, applicato sul fronte interno della muratura perimetrale, e la contestuale sostituzione degli infissi esistenti. E' stata parallelamente verificata l'assenza di condensa interstiziale e superficiale, conseguibile previa applicazione di una barriera al vapore.

Infine, per il pavimento su terreno, è stata prevista la realizzazione di un solaio areato. Per ogni componente è stato verificato il valore di trasmittanza a norma di legge ed è stata effettuata la verifica Glaser.

### **Modellazione BIM Stato di Progetto**

Per il modello dello stato di progetto si è partiti da quello di fatto, modificandone le stratigrafie degli elementi edili e la distribuzione interna per determinare i locali.

L'effettiva distribuzione interna nel Modello D in Design Builder è stata semplificata rispetto a quella del modello BIM, accorpando locali che hanno lo stesso comportamento come zona termica, al fine di alleggerire il modello per l'analisi ed evitare errori nella simulazione. Per quanto riguarda il riscaldamento dell'ACS, da progetto è prevista l'installazione di pannelli solari termici in copertura, ed è stato predisposto all'interno dell'e-



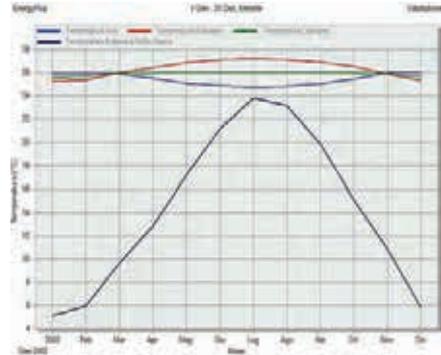
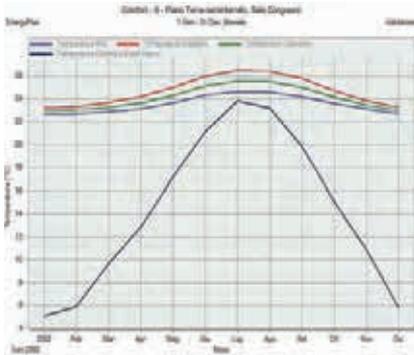
edificio un locale tecnico dove collocare il boiler per l'accumulo di ACS. Successivamente sono stati impostati i parametri del tetto verde 'estensivo leggero', che corrisponde a quello di progetto, nel Modello D in Design Builder. Sono stati poi definiti i valori di trasmissione solare, trasmissione visibile e trasmittanza termica degli elementi vetrati, oltre che dimensioni e coefficienti di scambio termico dei telai. L'impianto, a geotermia, è di tipo a tutt'aria, a portata variabile, e alimentato da una pompa di calore invertibile. La modellazione dell'impianto di climatizzazione è stata semplificata al fine di mettere in rilievo l'interazione edificio-contesto climatico, così da consentire una più agevole analisi. L'impianto a servizio dell'edificio è impostato a regime di conduzione continuo.

L'impianto è di tipo 'ideale'; la temperatura oscilla tra i 20 °C e i 26 °C. Invece, per quanto riguarda il vano scala, risulta essere in deriva termica perchè non vi è la presenza di nessun impianto. Per le zone come la sala congressi, in cui vi è un più elevato valore di apporti interni, si nota che la temperatura nei mesi invernali supera il valore di setpoint di 20 °C. Le maggiori dispersioni si hanno per ventilazione invece che per trasmissione dei componenti opachi.



**Design Builder, 'comfort', andamento delle temperature della sala congressi del Modello D**

*a destra*  
**Design Builder, 'comfort', andamento delle temperature della sala congressi del Modello D**



## Conclusioni

L'esperienza pratica attraverso l'analisi dinamica del caso studio è stata utile come spunto per alcune riflessioni a carattere generale, e non solo specifiche dell'oggetto in esame, riguardo le possibili soluzioni di riqualificazione energetica adottate:

- l'applicazione di un isolamento termico di involucro derivante da requisiti normativi piuttosto che da una effettiva ottimizzazione dello spessore dello strato isolante, comporta su base annuale effetti non univocamente orientati verso l'efficienza energetica. L'indubbio vantaggio in riscaldamento appare essere 'contraddetto' da un aggravio in raffrescamento;
- il semplice inserimento di un recuperatore di calore lato ventilazione risulta non idoneo in relazione alle stesse funzioni, portando quindi ad ipotizzare un utilizzo calibrato di free-cooling, o quantomeno un bypass del recuperatore stesso;
- l'utilizzo di strumenti avanzati di analisi quali Design Builder dovrebbe consentire al progettista di andare oltre schemi convenzionali per calarsi nella specificità dell'edificio oggetto di riqualificazione;
- in una più ampia prospettiva di impatto ambientale, è evidente come la minimizzazione del consumo di risorse energetiche consenta parallelamente di minimizzare le emissioni di sostanze clima alteranti.

L'esperienza svolta ha consentito non solo di raggiungere gli obiettivi 'tecnici' prefissati, ovvero l'analisi di interoperabilità tra software, ma anche di acquisire maggiore consapevolezza riguardo le potenzialità e i limiti che questi strumenti attualmente offrono; sono, in ragione di ciò, da vedersi come un ausilio alla progettazione, ma è indispensabile, in aggiunta a ciò, l'esperienza del progettista nel leggere e interpretare i risultati di calcolo e da essi derivare considerazioni attendibili del sistema in oggetto.

## Bibliografia

- Brigliadori V. 2014, *“Fare” efficienza energetica negli edifici storici*, Roma.
- Carbonara G. 2001, *Restauro architettonico e impianti*, UTET, Torino.
- Cerroni F., *Progettare il costruito: tecnologie per la riqualificazione sostenibile dei siti ad elevata qualità storica e ambientale*, Roma, Gangemi, 2010.
- Dall’O’ G. (a cura di) 2003, *Gli impianti nell’architettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- D’Amico C. 2006, *Innovazioni tecnologiche per i beni culturali in Italia*, in Atti del convegno di Caserta, Patron Editore, Bologna.
- Dall’O’ G. 2000, *Evoluzione storica degli impianti nell’architettura*, UTET, Torino.
- Ientile R. 2001, *Per un consolidamento consapevole dei beni architettonici*, Celid, Torino.
- Lucchi E. 2009, *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Magarotto E. 2010, *Tecnologie innovative per la valorizzazione dei beni culturali*, Maggioli, Sant’Arcangelo di Romagna.
- Marston Fitch, J. 1982, *Historic Preservation: curatorial management of the built world* University of Virginia Press, Charlottesville.





Restituzione  
tridimensionale  
di parte del  
complesso  
architettonico

**NZero-  
foundation,  
pensato per  
il meridione  
d'Italia**

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Arch. Danilo  
Rinaldi, A.A.  
2015/16,

Relatori:  
Prof. Arch. L.  
Ceccherini Nelli,  
Ing. V. Donato.

**Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto**

NZero-foundation è un complesso residenziale per studenti, delineato in conformità alle caratteristiche territoriali e climatiche dell'area in cui sorge: Sud Italia. Il complesso è stato modellato attraverso un software BIM, Revit, per ricavare dati dinamici su performance strutturale, consumo energetico annuale, costi sull'intero ciclo-vita, fattori di illuminazione e ombreggiatura lungo le facciate del complesso. Tutto ciò ha contribuito a determinare le diverse fasi di gestione del progetto.

Nzero-foundation si caratterizza per i consumi, prossimi allo zero pur mantenendo bassi i costi di produzione; questa è la sfida lanciata dall'edilizia per i prossimi anni, per arrivare alla quale vengono impiegate diverse strategie di contenimento energetico.

Il concetto di architettura green, sostenibile, si materializza in edifici, prima progettati e poi costruiti, nel rispetto dell'ambiente. Obiettivo dello studio è la gestione dell'intero processo (dal progetto preliminare fino alla simulazione energetica), attraverso un solo software, consentendo così al progettista di valutare in tempo reale le decisioni strategiche via via intraprese, senza ricorrere a più software.

Il BIM è infatti uno strumento olistico che permette una modellazione dettagliata della forma prescelta, conoscendone aprioristicamente i consumi e le performance energetiche. Tale strumento coadiuva quindi l'operatore verso una progettazione responsabile e condivisa.

La difficoltà del caso studio consisteva nel riuscire a dominare un'area molto ampia, quanto un intero quartiere, senza commettere errori di calcolo; la sfida è stata quindi quella di superare tale ostacolo utilizzando un modello a masse concettuali, per giungere a valori quantitativi di standard energetici 'NZEB'.

L'edificio 'NZEB' viene definito dall'art. 2 della Direttiva EPBD 2010/13/EU, come un fabbricato con altissime prestazioni energetiche e con consumi prossimi allo zero, utilizzando fonti energetiche rinnovabili.

Il D.M. 26/06/1015 attribuisce i valori limite di trasmittanza delle componenti di una struttura, in base alla zona climatica di appartenenza; nel caso studio in questione, la normativa fissa valori di trasmittanza pari a 0,38 W/mqK per le componenti opache verticali (mu-



↑  
**Sezione  
 assonometrica  
 longitudinale  
 del complesso**

*pagina a fronte  
 sopra  
 sezione  
 assonometrica  
 trasversale del  
 complesso  
 al centro a  
 sinistra  
 schizzo  
 progettuale  
 del sistema  
 schermante a  
 lamelle  
 sotto a sinistra  
 sezione  
 tecnica con  
 individuazione  
 delle strategie  
 passive  
 applicate.  
 sotto a destra  
 sviluppo delle  
 strategie di  
 progetto*

ra perimetrali), di 2,44 W/mqK per le finestre, e di 0,36 W/mqK per i solai contro-terra e di copertura.

Il metodo di valutazione usato per comparare il consumo energetico di edifici differenti è l'EUI (Energy Use Intensity), definito come l'energia consumata in un anno fratto l'area di pavimentazione climatizzata; tale valore si esprime in unità per kBtu/sf/yr o in kWh/sm/yr.

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di arrivare almeno a 16 kBtu/sf/yr, ovvero a circa 52 kWh/sm/yr, che è da considerare ottimo per un complesso, quale quello in esame, ospitante fino a 2600 studenti (più servizi), distribuiti su una superficie climatizzata di 89.000 mq.

Oltre a standard quantitativi, la committenza richiedeva di pervenire ad elevati standard qualitativi e di benessere adottando un'architettura bioclimatica.

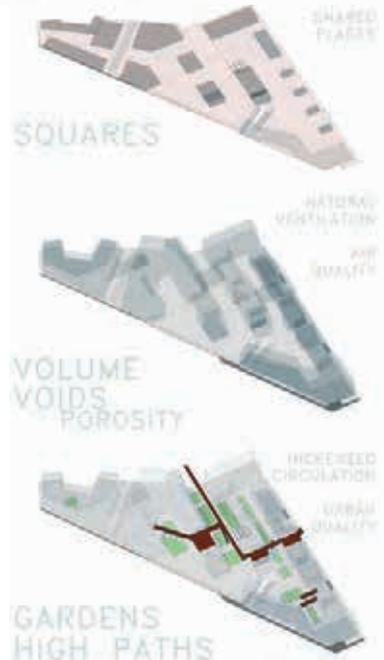
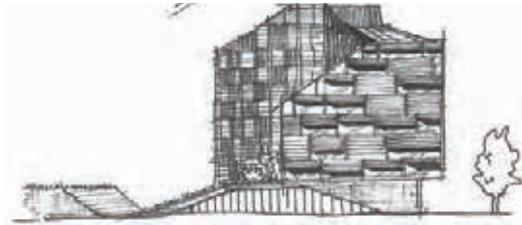
Lo studio si articola in quattro fasi:

- descrizione dei benefici nell'applicazione di principi strategici passivi, strettamente correlati allo studio del clima dell'area di progettazione;
- descrizione delle peculiarità tecniche dell'edificio;
- definizione dei criteri adottati per la creazione del modello a masse concettuali;
- descrizione dei risultati ottenuti dalla simulazione energetica, sulla base delle strategie assunte.

## **Strategie**

Le strategie bioclimatiche passive accennate si basano su otto punti:

1. ventilazione: attraverso la conoscenza della direzione dei venti freddi e di quelli caldi, è possibile diminuire l'utilizzo della ventilazione meccanica controllata;
2. ambiente: utilizzo della vegetazione autoctona, per creare barriere acustiche e frangivento; giardini posti a diverse quote per dar vita a luoghi ricreativi e di svago; utilizzo delle acque piovane per gli usi domestici;



3. schermature solari: una doppia pelle a lamelle orientabili, posta lungo il perimetro degli edifici, riduce il carico termico durante la stagione estiva, mentre incrementa gli apporti gratuiti durante quella invernale. L'inclinazione delle lamelle viene regolata, istante per istante, in base alle necessità dell'utenza, da un'apposita 'famiglia parametrica'.
4. buffer zone: preriscaldando l'aria delle zone adiacenti agli alloggi, si ottiene il mantenimento della giusta temperatura indoor.
5. corti: l'introduzione di corti interne di distribuzione, trattate come torri del vento, consente di regolare il comfort dei singoli appartamenti;
6. tetto-giardino: l'impiego di solai coperti da vegetazione, incrementa l'isolamento degli ambienti sottostanti, creando nello stesso tempo ulteriori luoghi di socializzazione, ad alta esposizione solare.



**Restituzione  
tridimensionale  
in assonometria  
del complesso.**

7. riscaldamento: utilizzando recuperatori di calore nel sistema di ventilazione meccanica controllata, si diminuisce il fabbisogno termico durante l'inverno, già reso basso dall'impianto geotermico verticale (con un pescaggio a 90 m di profondità);

8. involucro: finestre e mura perimetrali a bassissima trasmittanza, contribuiscono a mantenere costanti le temperature indoor, minimizzando così il ricorso a strategie attive.

Attraverso lo studio del clima, si denota come il luogo di ubicazione del progetto possiede alti valori di umidità dell'aria; le temperature, influenzate dalle brezze marine, hanno valori medi tra i 9°C e i 25°C. All'interno del progetto, si è deciso di esaminarne un solo 'blocco' (con un'estensione pari a 23.000 mq destinati alla fruizione di circa 970 persone), in quanto era indispensabile, a fini di calcolo, procedere con una semplificazione; l'indipendenza di questo blocco dal resto ha reso possibile tale operazione.

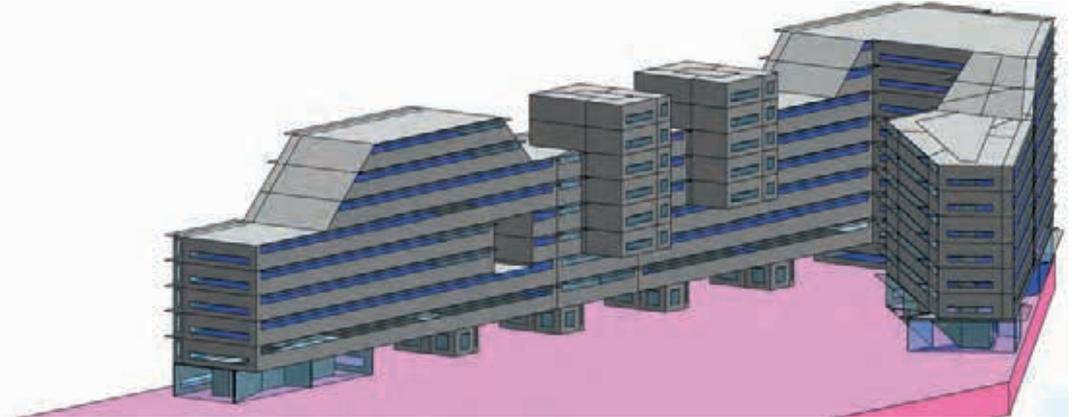
Lo sviluppo dell'involucro è stato decisivo nell'ottenimento delle prestazioni volute; per questo motivo sono state pensate componenti a basse trasmittanze: le mura, in legno, hanno valori della U pari a 0,28 W/mqK; il solaio di copertura, anch'esso in legno, ha trasmittanza pari a 0,18 W/mqK, mentre le finestre, costituite da un pacchetto triplo vetro basso-emissivo, arrivano a valori della U pari a 1,45 W/mqK.

Per quanto riguarda i sistemi di raffrescamento, riscaldamento e acqua calda sanitaria, ci si è basati sull'introduzione di pompe di calore. L'illuminazione, a LED, ha una densità media di potenza pari a 128 W/sf, ed è controllata da fotosensori e rilevatori di presenza. Le fonti rinnovabili presenti sono il sistema geotermico e quello fotovoltaico, in policristallino a film sottile, produttore circa 600 kW/h/yr da 2200 mq di superficie.

### **Modello energetico**

A causa della complessità delle forme architettoniche, si è detto precedentemente che è stata necessaria la creazione di un modello a masse concettuali, meno preciso nei calcoli, ma di più facile maneggevolezza.

*pagina a fronte  
restituzione del  
modello a masse  
concettuali  
per l'analisi  
energetica,  
individuazione  
piani e aree  
finestate,  
realizzato con  
G.B.S.*



Tale modello è stato realizzato attraverso il software Revit, usato dal disegno preliminare al calcolo energetico. Dopo la modellazione, il passo successivo è stato quello di gestione dei dati di input; per farlo è stato utilizzato Green Building Studio (GBS), che ha restituito valori finali di EUI pari a 24 kBtu/sf/yr dai quali, sottraendo i 8,1 kBtu/sf/yr provenienti dal fotovoltaico, si arriva a 15,9 kBtu/sf/yr, corrispondenti a circa 51 kWh/sm/yr, valore molto prossimo a quello voluto.

Le emissioni annuali di CO<sub>2</sub> calcolate ammontano a 494 tonnellate per l'elettrico e a 258 per il combustibile di onsite, destinato al riscaldamento; la richiesta energetica dell'intero ciclo vita, ammonta a 43.500.000 kW per l'elettrico e approssimativamente a 1.335.000 kW per il termico

## Conclusioni

L'architettura bioecologica condiziona (e concatena), tre livelli di benessere: ambiente, economia e società. Gestire e saper far fronte agli imprevisti, tempestivamente e con dati alla mano, rappresenta la vera sfida del progettista odierno; il BIM è capace di aiutare il professionista durante queste fasi delicate, consentendogli di prendere decisioni istante per istante, e a lungo termine. Lungo tale scia, l'architettura si avvicina ad annullare le distanze tra estetica e funzionalità.

pagina a fronte  
Restituzioni  
tridimensionali  
del complesso  
con vista di  
giardini e  
corridoi di  
ventilazione

## Bibliografia

Ceccherini Nelli L. 2012, *European project for training on renewable energy solutions and energy efficiency in retrofitting (REE\_TROFIT)*, 2nd World Sustainability Forum.

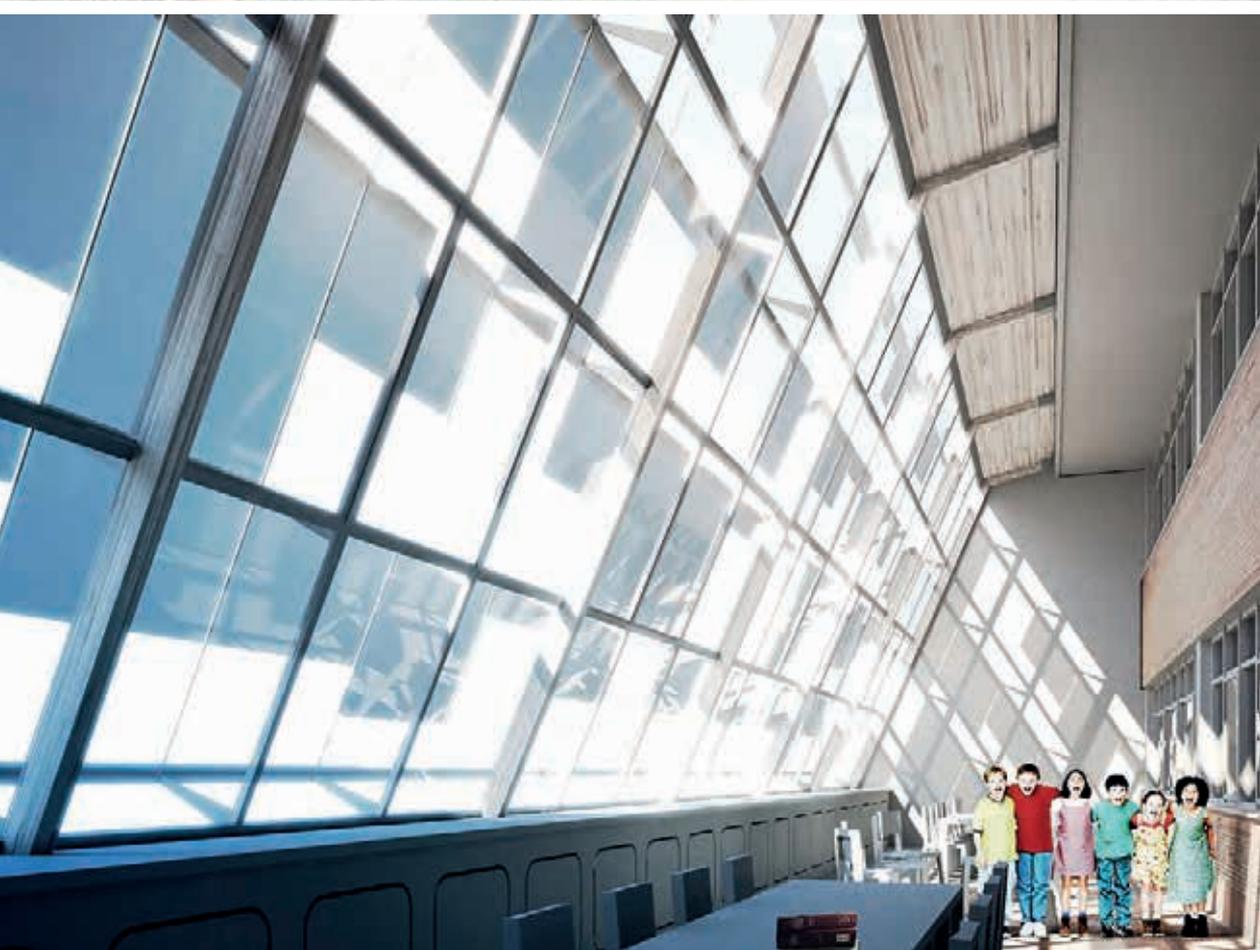
Gallo P. 2013, *Master course in architecture and environmental technologies A post graduated course for integrated education of architects in the use of environmental strategy in the project*, in Architectural education and reality of the ideal: environmental design for innovation in the post-crisis world, Napoli.

Romano R. 2016, *Involucri adattivi per la riduzione dei consumi energetici degli edifici universitari*, in Residences and services for University Students.

Romano R. 2016, *Sistemi di facciata innovativi per la riqualificazione n-ZEB, «Azero»*, pp. 50- 59.

Trombadore A. 2015, *Mediterranean smart cities, Collana MED Smart Cities*, Altralinea Edizioni, Firenze.





---

# PROPOSTA DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELLA SCUOLA DI ROCCASTRADA

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



**Restituzione  
tridimensionale  
di interno della  
scuola, dopo gli  
interventi**

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Arch. F.

Ciarini, Arch.  
I. Manfredi,

A.A. 2010/11,  
Relatore:

Prof. Arch. A.  
Trombadore

Il Comune di Roccastrada (Grosseto), negli ultimi anni ha scelto di governare il proprio territorio secondo le linee guida dello Sviluppo Sostenibile.

Conformemente a questo modus operandi ha richiesto che fosse verificata la prestazione energetica, e avviato un disegno strategico di riqualificazione, di una sua struttura: la Scuola Secondaria di Primo Grado.

Il presente lavoro, inserito all'interno di questo contesto, si propone di individuare e proporre, in tempi brevi, progetti ed obiettivi per conseguire la finalità richiesta.

Scopo del progetto è, in definitiva, il comfort ambientale della struttura, garantito da uno studio attento di: prestazioni energetiche di impianti ed elementi tecnologico-costruttivi, controllo dei consumi scegliendo accuratamente materiali e il loro ciclo di smaltimento, gestione del piano di manutenzione.

Il lavoro proposto parte dallo studio preliminare dello stato di fatto e prosegue con le analisi energetiche di questo stato, al fine di individuare (e proporre alle amministrazioni locali), la più idonea linea di intervento. E' stata dunque costituita una matrice che ingloba tre distinte proposte progettuali, e conclude con una valutazione ponderata dei risultati ottenuti.

La prima ipotesi prevede l'inserimento di un isolamento a cappotto termico lungo tutto il perimetro murario della struttura, la seconda ipotizza la sostituzione degli infissi con tipologia in PVC a doppio vetro, e infine la terza mette a sistema le prime due. Per ciascuna proposta è stato verificato, attraverso il software Termus, l'indice di prestazione energetica che la scuola raggiungerebbe.

La comparazione diretta tra i risultati, ha consentito di individuare la proposta più soddisfacente, in termini di costi/ benefici, che prevede l'inserimento in copertura di pannelli fotovoltaici.

## **Stato di fatto**

L'edificio ospitante la Scuola Primaria di Roccastrada, appartenente all'edilizia degli anni '60, con l'annessa palestra, è frutto di un completamento sommario della struttura lasciata incompiuta dalla ditta appaltatrice che era stata incaricata della costruzione.



**Palestra della struttura e parcheggio ad essa antistante**

*a destra uno degli ingressi alla scuola*



Il progetto originario prevedeva dodici aule, spazi comuni, un centro direzionale e amministrativo, un auditorium, la palestra e la casa del custode. Quando il Comune decise di recuperare l'edificio incompleto, furono fatte delle trasformazioni che però mostrano contraddizioni evidenti tra progetto originario e opera compiuta.

Gli interventi di completamento infatti, furono architettonicamente non corretti, determinando un totale stravolgimento dell'impianto distributivo. Dal punto di vista del comfort abitativo la struttura, in cemento armato, causa disagi notevoli sia in inverno, che in estate. Durante la bella stagione, infatti, parte di quest'ultima viene utilizzata da una società che si occupa di gestire un centro estivo per ragazzi.

Si ritiene pertanto indispensabile procedere con: ristrutturazione delle mura perimetrali; sostituzione della copertura e inserimento di impianto fotovoltaico; installazione di un sistema di riscaldamento radiante; sistemazione del verde perimetrale e, non ultimo, eliminazione delle barriere architettoniche.

La palestra, di cui si riporta la foto in alto a sinistra, è oggi comunale e gestita da un ente, esterno alla Pubblica Amministrazione, che si occupa di lasciarlo in concessione per le attività sportive degli studenti.

*pagina a fronte sopra*  
**Relux,**  
 elaborazioni tridimensionali sull'incidenza della luce naturale negli ambienti scolastici  
 al centro e in basso  
**Termus G,**  
 scheda sulla trasmittanza di parete perimetrale in laterizio

## **Analisi energetiche**

Per quantificare la luce naturale presente nelle aule e nell'annessa palestra, è stato utilizzato il programma Relux (a tal fine, sono state riportate, di fianco a destra, delle renderizzazioni rappresentanti l'incidenza della luce naturale in alcune aule).

Ma le grandi vetrate che, apparentemente, forniscono un'ottima illuminazione, in realtà non permettono una buona omogeneità della stessa, come è possibile notare dalle stesse immagini. Si nota infatti una distribuzione netta tra la zona più vicina alla finestra e quella più lontana, passando così dal valore di 1500 lux a 300 lux. Con l'ausilio del software Temus, sono state verificate le prestazioni energetiche sia della scuola, che della palestra; in particolare, sono state dedotte le caratteristiche termo-igrometriche delle componen-



N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50°10'' [kg/mPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza interna	0		7.700			0	0.130
2	Infonaco di calce e peso.	25	0,700	28.000	35,00	18.000	1000	0,036
3	Blocco forato di laterizio (250/250/250) spessore 250	250		1.250	199,00	25.710	840	0,800
4	Malta di cemento.	20	1,400	70.000	40,00	8.500	1000	0,014
5	Mattoni facciavista Borgonovo (5,5x5,5x25cm) spessore 5,5cm	55		1.695	675,00	20.570	840	0,590
6	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0,040
RESISTENZA = 1,818 m²K/W				CAPACITA' TERMICA AREICA (IIR) = 49,521 kJ/m²K		TRASMITTANZA = 0,521 W/m²K		
SPESORE = 380 mm				MASSA SUPERFICIALE = 914 kg/m²		SFASAMENTO = 22,19 h		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0,01 W/m²K				FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0,92				

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50°10'' = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.l.

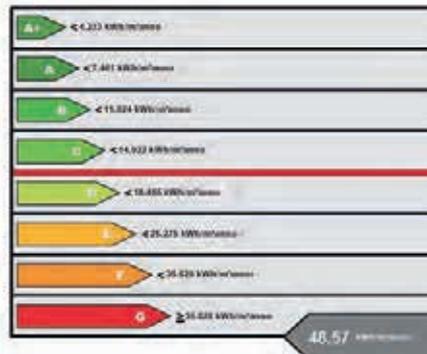
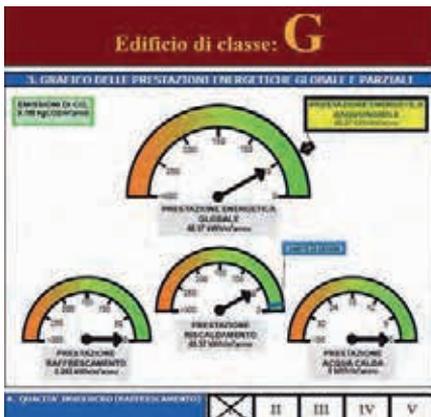
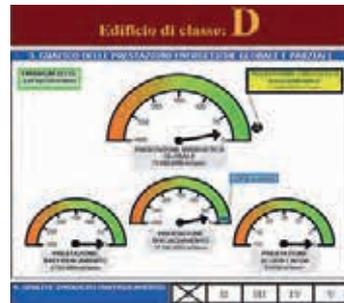
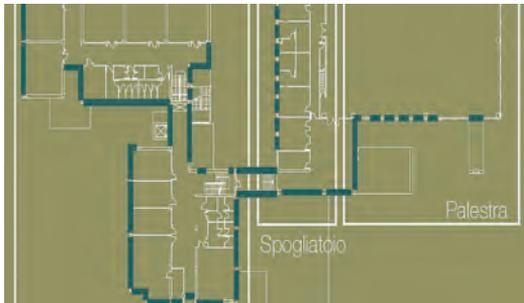
ti opache e trasparenti. A titolo esemplificativo, la scheda in alto, riporta la trasmittanza di un muro perimetrale in laterizio, e da essa si evince che non sono soddisfatte le verifiche di legge. Questo lavoro è stato condotto su ogni componente dell'edificio: muri perimetrali e divisori interni, tutti i solai e tutti i sistemi finestrati. Proprio dall'analisi insoddisfacente di questi ultimi si è rivelato che occorrerebbe sostituirli con altri che abbiano un fattore solare inferiore a 0,5. E' stato anche verificato che la trasmittanza delle pareti divisorie tra zone termiche diverse fosse inferiore a 0,8, che la massa superficiale delle pareti opache fosse maggiore di 230 Kg/mq, e sono stati valutati i sistemi schermanti esterni. Da quanto analizzato, si è dedotto che occorre installare dispositivi di regolazione automatica della temperatura nei singoli locali, utilizzando fonti rinnovabili per la produzione di energia.



a sinistra schema di inserimento di cappotto esterno alla struttura, prima ipotesi, e schema di sostituzione degli infissi, seconda ipotesi

sopra a destra indice di prestazione energetica raggiunta dalla palestra a seguito dell'inserimento del cappotto esterno

sotto indice di prestazione energetica raggiunta dalla scuola a seguito dell'inserimento del cappotto esterno



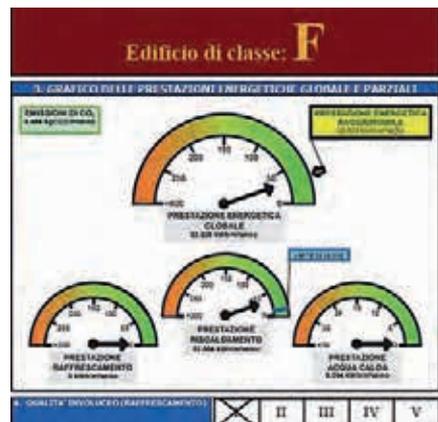
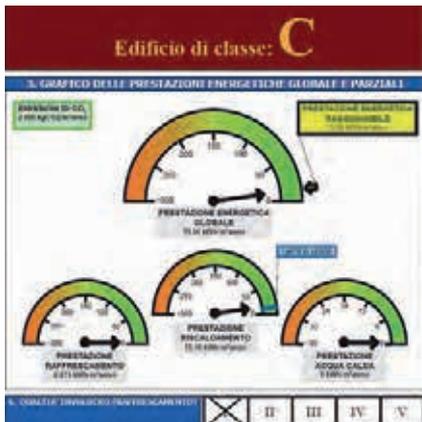
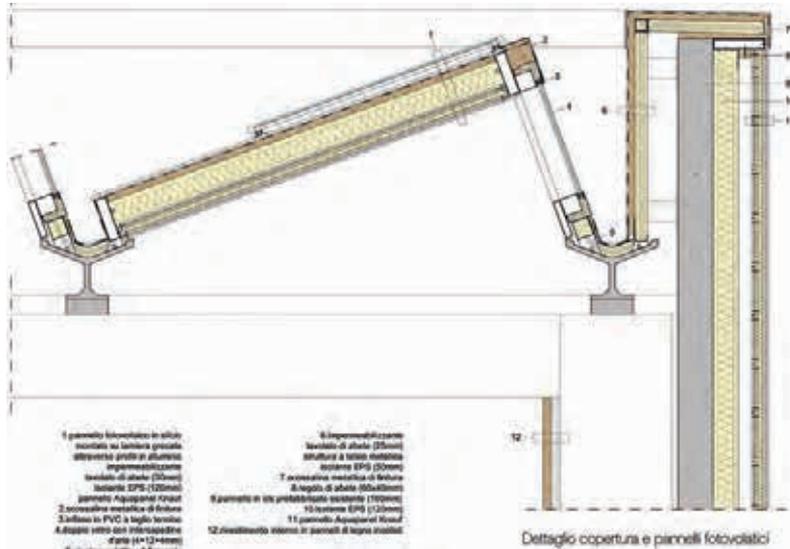
### Ipotesi progettuali a confronto

L'edificio, attualmente, presenta una situazione energetica molto insoddisfacente, data dagli elevati consumi riscontrati in bolletta e che si ripercuotono sul bilancio annuale del comune.

L'analisi condotta ha rilevato infatti un indice di prestazione energetica invernale pochissimo performante, che fa ricadere sia la palestra che la scuola in classe energetica 'G'.

Sono stati inoltre verificati fenomeni di condensa superficiale e interstiziale; gli elevati consumi sono quindi da attribuire alle forti dispersioni termiche che si verificano attraverso i pacchetti murari non isolati, alle grandi vetrate a vetro singolo e telaio metallico, alle strutture orizzontali non isolate e all'impianto non efficiente.

Utilizzando il programma Termus sono state condotte tre distinte ipotesi progettuali: la prima prevede l'inserimento di un isolamento a cappotto termico lungo tutto il perimetro murario della struttura, su soffitti e pavimenti internamente. Ciò determina la verifica delle condizioni di legge e il passaggio (per la palestra) alla classe energetica 'D', mentre la scuola non salirebbe di classe.



Particolare dettaglio di copertura coperto a pannelli fotovoltaici sotto a sinistra. Indice di prestazione energetica raggiunta dalla palestra a seguito della terza ipotesi di intervento sotto a destra. Indice di prestazione energetica raggiunta dalla scuola a seguito della proposta di intervento

La seconda ipotesi prevede la sola sostituzione degli infissi con tipologia in PVC a doppio vetro. Anche in questo caso risulta che le verifiche di legge sono soddisfatte, ma permangono i fenomeni di condensa interstiziale e superficiale.

Alla luce di questo scenario, sia la scuola che la palestra rimangono in classe energetica 'G', anche se la scuola ottiene una riduzione dell'EPI (Indice di Prestazione Energetica) del 25%

➔  
Elaborazione  
tridimensionale  
di aree verdi,  
scuola e palestra  
del complesso  
scolastico



circa, contro il 5% della palestra, ciò è dovuto all'esiguo numero di finestre presenti nella palestra.

La terza ipotesi prevede il contemporaneo inserimento di cappotto termico e sostituzione degli infissi; in tal modo, rispetto allo stato attuale, si verifica una sensibile riduzione dell'EPI e l'eliminazione dei fenomeni di condensa interstiziale, oltre ad essere soddisfatte le verifiche di legge. Tuttavia, mentre la palestra sale alla classe energetica 'C', la scuola rimane in classe 'G'.

Dall'analisi condotta si deduce che, dopo gli interventi proposti, la palestra, dotata di forma più compatta, riesce maggiormente a migliorare le proprie prestazioni, mentre l'edificio scolastico, mantiene inalterata la sua classe energetica a causa della forma disperdente. Per risolvere questo nodo quindi, occorrerebbe in primis razionalizzare l'uso degli spazi scolastici, accorpandoli in una unica zona e concentrandovi la potenza dell'impianto. Per completezza, sono stati riportati, di fianco, i risultati delle analisi energetiche sia della palestra, che della scuola.

Alla luce dei risultati ottenuti, lo stato di progetto prevede il perseguire due distinte linee d'azione: per la scuola si prevede l'inserimento di cappotto termico esterno alle pareti verticali della struttura esistente, di sostituire gli infissi ove necessario, costruire una serra a Sud per garantire apporti gratuiti di calore durante la stagione invernale e la realizzazione di uno spazio polifunzionale; mentre per la palestra sarà fatta soltanto una razionalizzazione degli spazi. Queste ipotesi ragionate, consentono alla palestra di salire in classe 'C', mentre alla scuola in classe 'F'. Intervenendo con la sostituzione degli esistenti impianti di riscaldamento e di produzione di ACS con tipologie più efficienti, coadiuvati da tecnologia fotovoltaica in copertura per l'alimentazione, la palestra salirebbe in classe 'A' e la scuola in una soddisfacente classe 'E'.

## **Bibliografia**

Ceccherini Nelli L. 1997, *L'innovazione tecnologica attraverso l'esperienza bioclimatica*, in *Continuità Sperimentazione Innovazione*, Faenza Ed, Faenza, pp. 230-240

Gallo P. (a cura di) 2007, *Scuola elementare a Bagno a Ripoli (FI)*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

Gallo P. (a cura di) 2010, *Recupero bioclimatico edilizio urbano. Strumenti tecniche e casi studio*, Sistemi Editoriali, Napoli.

Romano R. 2015, *Smart Envelope for Nearly Zero Energy Schools. The case study of Vallisneri Secondary*, in Sayigh A. 2015, *Renewable Energy in the Service of Mankind Vol I*, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 223- 232.

Romano R. 2017, *Plus-energy-school: il Detmold Vocational College*, «AZERO», pp. 52-59

Sala M. 1998, *2nd International Conference on Teaching Energy and Environment in Schools of Architecture*, Alinea Editrice, Firenze.



---

## DIAGNOSI ENERGETICA. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO DELL'ISTITUTO COMPRENSIVO MANZONI A TORINO

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



In alto a sinistra, prospetto Sud-Ovest, dell'I.C. Manzoni di Torino. In alto a destra, corridoio tipo dell'edificio. In basso, prospetto Nord-Ovest. Estratto dalla Tesi di Master di Ing. Barbara Devito, A.A. 2015/16, Relatore: Ing. A. Donato

L'attività svolta per questo lavoro ha come oggetto un edificio a destinazione scolastica: l'Istituto Comprensivo 'Manzoni' a Torino, costruito alla fine del 1800 e vincolato alla Soprintendenza dei Beni Culturali.

La ricerca è stata portata avanti sviluppando le seguenti tre tematiche: audit energetico; analisi termo-energetica tramite modellazione statica dell'edificio; analisi di fattibilità tecnico-economica di diverse proposte d'intervento per il risparmio energetico.

Nella prima parte del lavoro è stato eseguito l'audit energetico della scuola. Nella fase preparatoria del lavoro sono stati eseguiti attraverso un sopralluogo, sia l'aggiornamento delle planimetrie dell'edificio, sia l'aggiornamento degli impianti termici. Nella seconda parte del lavoro è stata condotta l'analisi termoenergetica della scuola, utilizzando un modello matematico con Edilclima. L'utilizzo del modello ha consentito di valutare i fabbisogni e i consumi. Il lavoro di modellazione è stato concluso con l'analisi e il confronto valutativo dei dati di consumo reali forniti dalle bollette energetiche.

Nella terza parte del lavoro sono state analizzate diverse proposte d'intervento per il risparmio energetico.

L'analisi di fattibilità tecnico-economica, ha permesso di valutare i risparmi energetici ottenibili e i conseguenti risparmi economici connessi.

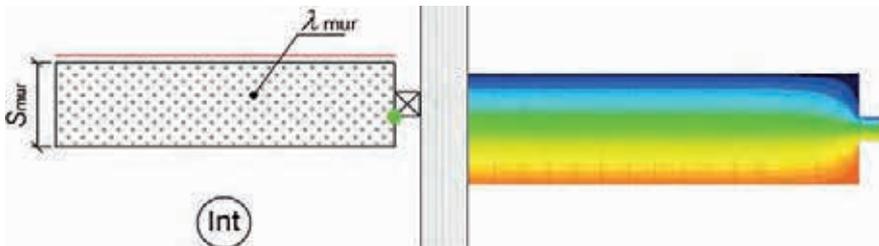
La diagnosi ha consentito di comprendere l'origine di parte dei consumi energetici, evidenziando non solo l'opportunità, ma anche la necessità inderogabile di attuare interventi di riqualificazione energetica dell'edificio.

L'obiettivo è la definizione di interventi di riqualificazione per una scelta consapevole degli interventi da proporre all'amministrazione, focalizzando l'attenzione sulla scelta di tecnologie edilizie e impiantistiche più efficienti.

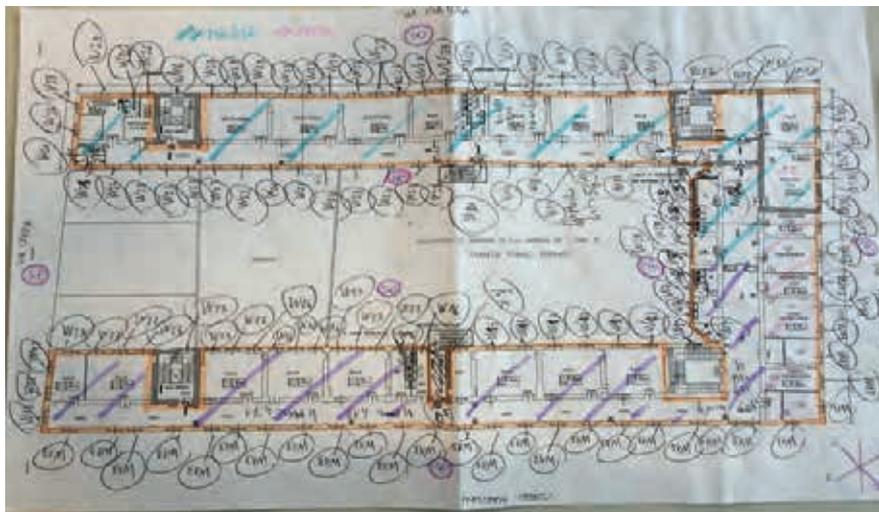
### **Modellazione e analisi dei consumi**

All'apertura del programma Edilclima, si è proceduto inizialmente inserendo i dati generali, necessari all'elaborazione del progetto, e quelli climatici; dopo si è passati alla defini-

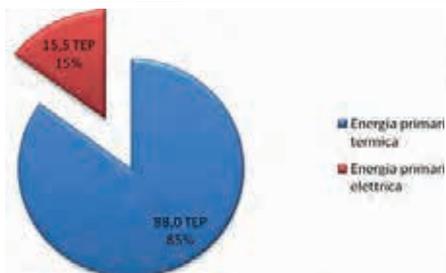
➔ sopra ponti termici, determinazione della trasmittanza termica lineare



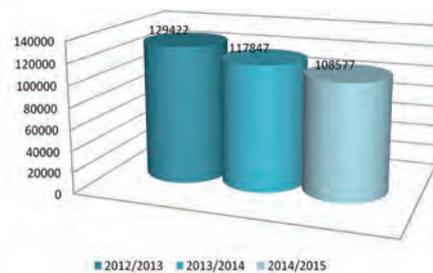
al centro schema di rilievo degli impianti



sotto a sinistra ripartizione dei consumi di energia primaria tra elettrica e termica



sotto a destra consumi termici normalizzati delle ultime tre stagioni termiche



zione del regime normativo da utilizzare per le verifiche di legge e gli attestati energetici dell'edificio.

Terminata questa fase, si è passati alla determinazione dei calcoli relativi a ponti termici, resistenze liminari, serre e locali non climatizzati.

A seguito di sopralluogo sono state individuate diverse tipologie murarie e, per ognuna

pagina a fronte suddivisione dei locali in pianta



di queste, sono stati prodotti i valori specifici di trasmittanza, permeanza, massa superficiale, fattore di attenuazione e sfasamento dell'onda termica. Lo stesso è stato fatto con pavimenti e soffitti.

Per quanto riguarda le componenti finestrate invece, sono state definite le caratteristiche specifiche, e quindi la tipologia di ogni serramento, la classe di permeabilità, lo spessore del vetro. Definiti tutti gli ostacoli esterni e determinati i relativi fattori di ombreggiamento, si è passati all'analisi dei consumi; questi derivano da lettura stagionale del contatore.

Una volta analizzati i consumi reali, sono stati presi in esame quelli relativi alle ultime tre stagioni termiche; da queste analisi si è dedotto (per come era presumibile), che l'energia termica costituisce la parte predominante dei consumi; infatti, il grafico nella pagina a fianco indica un 85% di energia primaria termica contro un 15% destinato a spese elettriche.

I documenti acquisiti dal Committente e/o ottenuti mediante sopralluogo raccolgono: consumi rilevati attraverso letture periodiche effettuate durante le stagioni termiche che vanno dal 2012 al 2015, piante quotate in scala del sito, documentazione fotografica, strumentazione non invasiva, e dati di occupazione.

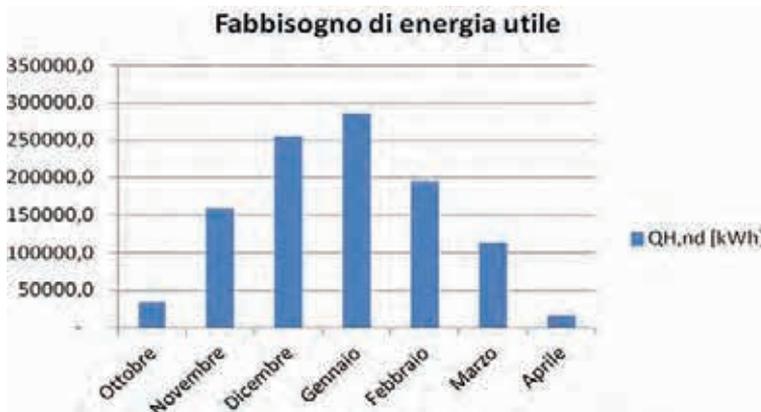
Definiti i dati geografici dell'immobile, si è passati poi ad effettuare un sopralluogo al fine di individuare le zone termiche (la Scuola e l'alloggio del custode).

A sua volta la scuola comprende 20 locali climatizzati, raffigurati nella pianta in alto a scopo esemplificativo. Per ogni zona, comprese le scale e gli ascensori, sono state indicate: la descrizione, la categoria d'uso della zona e i dati geometrici.

Per quanto riguarda i locali climatizzati, vengono riportate le caratteristiche dimensionali dello stesso, le temperature interne, gli eventuali apporti interni aggiuntivi specifici del locale e i dati relativi alla ventilazione.



Grafico sul fabbisogno di energia utile, la maggiore si ha nel mese di gennaio.



Nell'edificio, i dati relativi alla ventilazione hanno tenuto conto di: ventilazione naturale, la categoria e la sottocategoria dell'edificio. In questa maniera, il programma visualizza la categoria e la sottocategoria dell'edificio, il campo di portata d'aria esterna, e l'indice di affollamento  $n_s$ , espresso in persone/m<sup>2</sup>.

Nella scheda 'Strutture disperdenti', all'interno della tabella 'Elenco strutture', sono stati inseriti tutti gli elementi disperdenti che delimitano il locale specificandone l'esposizione, l'eventuale ombreggiamento e la superficie.

Nella scheda 'Illuminazione' è stata inserita la potenza installata degli apparecchi luminosi sulla base di una media rilevata in sede di sopralluogo. In particolare, gli apparecchi luminosi, installati nella scuola oggetto di esame, sono lampade fluorescenti da 36 W.

I risultati di dispersione per trasmissione dei componenti dell'involucro, mostrano che la componente avente la maggiore percentuale disperdente è la muratura, mentre la minore è data dai ponti termici.

Il grafico in alto mostra che il fabbisogno maggiore è nel mese di gennaio, mentre per quanto riguarda l'andamento delle dispersioni durante la stagione di riscaldamento, essendo in zona 'E', viene considerato da ottobre ad aprile.

*pagina a fronte sopra a sinistra*  
**Pompa di distribuzione**

*sotto a sinistra*  
**targhetta generatore di calore**

*a destra*  
**Consumi termici normalizzati delle ultime tre stagioni termiche**

## Modellazione dell'Impianto

Attraverso l'interfaccia 'Impianti' del programma Edilclima, sono stati configurati i sistemi impiantistici e i dati necessari ai fini del calcolo dei rendimenti. Nell'edificio in



Caldaia tipo	P. 820	Capacità	
N° Modulo		Pressione	
Altra costruzione	1998	Temp. max	
Rela. 230V 50Hz		Capacità	
W	Boiler		
Completato	Gas	Categoria	Legna
Acqu. quali. con Xi	X	II2H3+	
POTENZE	min. kW	max.	
Max	655+820		
Passiva	706+893		
Caldaia P. 134	0003AR3385	Sup. m <sup>2</sup>	



oggetto, gli impianti installati riguardano il riscaldamento centralizzato, che è a servizio dell'intera struttura, e l'acqua calda sanitaria, che ha una produzione separata rispetto al riscaldamento.

L'edificio è alimentato da 2 caldaie alimentate a metano con potenza termica nominale al focolare, rispettivamente di 893 e 820 kW (dato di targa). Queste stesse caldaie alimentano sia il circuito che lega la scuola agli uffici ad essa annessi, che la casa del custode.

Per la caratterizzazione dell'impianto, sono stati compilati i dati di 'primo livello' relativi a: circuiti, accumulo e distribuzione primaria, altri carichi, generazione, e quelli di 'secondo livello' relativi a: dati generali, sottosistemi, temperatura media acqua. Sono stati determinati i rendimenti stagionali degli impianti distinti tra quelli di emissione, di regolazione, di distribuzione utenza e di generazione. L'impianto di ACS invece è separato rispetto all'impianto di riscaldamento, ed è costituito da boiler elettrici. E' stata individuata la media dei consumi termici normalizzati come valore di consumo effettivo dell'edificio; il modello risulta essere veritiero e ben tarato in quanto lo scostamento tra consumo effettivo e consumo operativo è pari al 1,2%, perciò inferiore al range di accettabilità previsto, del 10%.

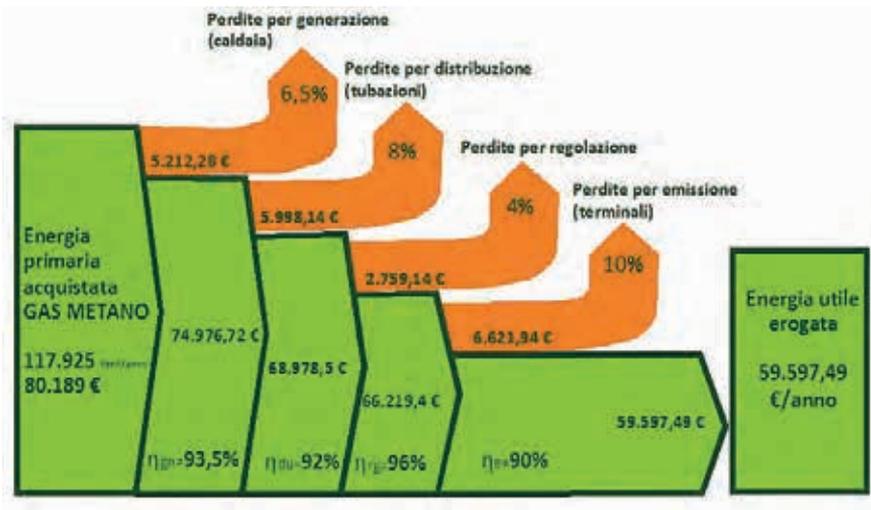
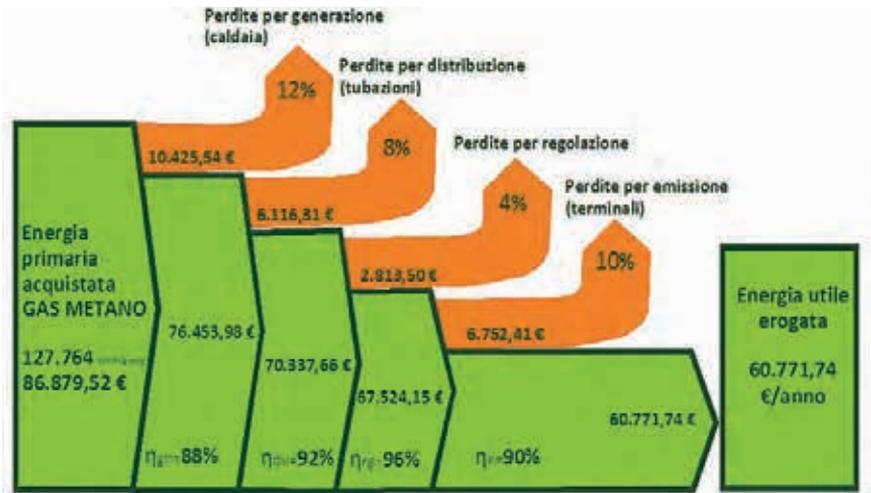
L'indice di prestazione energetica corrisponde all'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno. L'indice indica quanta energia venga consumata affinché l'edificio raggiunga le condizioni di comfort secondo i servizi energetici presi in considerazione dal tipo di immobile.

### Stato di Progetto

Poiché l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto è tanto più alta quanto più basso è il consumo di energia, l'attenzione va rivolta contemporaneamente alle caratteristiche tec-

➔  
sopra  
Rendimento  
medio stagionale  
del sistema  
impianto ante  
intervento

sotto  
Rendimento  
medio stagionale  
del sistema  
impianto post  
intervento



nologiche d’involucro e alla scelta di impianti più efficienti, pur tenendo in considerazione la possibilità di accedere al nuovo Conto Termico 2.0.

Alla luce dei risultati ottenuti, si prevede la sostituzione dei due generatori di calore tradizionali con tre nuovi a condensazione dalle seguenti caratteristiche: funzionamento a temperatura scorrevole, bruciatore ad aria soffiata e regolazione climatica guidata da sonda esterna di temperatura. Si propone inoltre l’installazione di valvole termostatiche



**Grafico sul tempo di ritorno dell'investimento legato alla sostituzione del generatore**

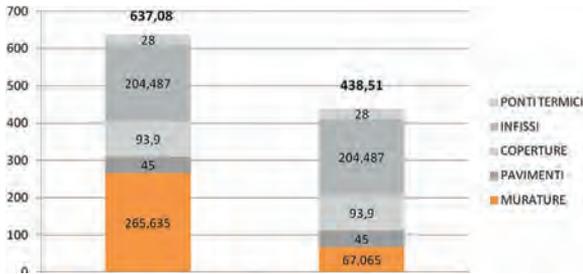
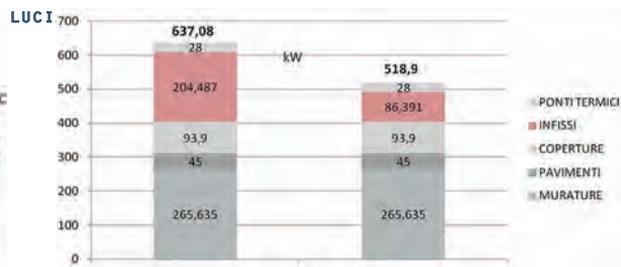
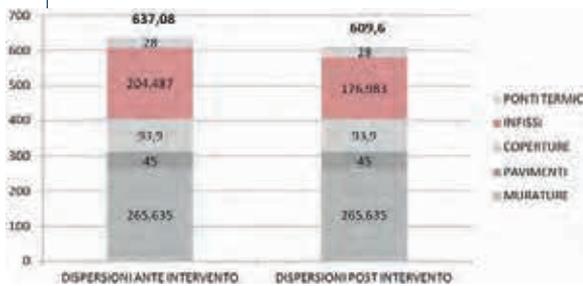
e di contabilizzatori di calore ai terminali di emissione, in modo da modulare la richiesta termica in base alle reali necessità. La motivazione per cui si è scelto di intervenire sul generatore è perché esso rappresenta l'elemento che ha maggiori perdite nel sistema impiantistico. Con la sostituzione del generatore le perdite diminuiscono dal 12 % al 6.5 %, ovvero pari a circa 5.500 euro. Il tempo in cui il costo dell'intervento viene ripagato dal risparmio di metano in bolletta, avuto dopo il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio, è pari a 21 anni; ma rientrando tale intervento tra quelli ammissibili per l'accesso agli incentivi, si usufruirebbe di ulteriore detrazione del 40 %, e quindi, il tempo di ritorno dell'investimento scenderebbe a 15 anni.

Applicando dell'isolante sull'estradosso del solaio sottotetto, le dispersioni si ridurrebbero del 5%, con un bassissimo tempo di ritorno dell'investimento, pari cioè a soli due anni.

Nella pagina a seguire, vengono proposte altre quattro ipotesi di intervento, e per ciascuna di esse vengono esposti i pro e i contro.

## Risultati

Sostituendo solo gli infissi deteriorati con tipologia a vetro singolo, si ridurrebbero del 5% circa le dispersioni per trasmissione; il tempo in cui il costo dell'intervento viene ripagato dal risparmio di metano in bolletta, avuto dopo il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio, è pari a 10 anni. Tuttavia, essendo tale intervento proposto all'interno di quelli ammissibili per l'accesso agli incentivi, si usufruirebbe di una detrazione del 40 % e per un



sopra a sinistra. Grafico sulla riduzione del fabbisogno di potenza termica invernale a seguito della sostituzione di alcune finestre

sopra a destra. Grafico sulla riduzione del fabbisogno di potenza termica invernale a seguito della sostituzione di tutte le finestre

sotto a sinistra. Grafico sulla riduzione del fabbisogno di potenza termica invernale a seguito dell'inserimento di isolante internamente alle pareti

sotto a destra. Grafico sulla riduzione del fabbisogno di potenza termica invernale a seguito della combinazione di tutti gli interventi precedenti

importo non superiore a 450 euro/m<sup>2</sup>; quindi il tempo di ritorno dell'investimento scenderebbe a sei anni. Sostituendo invece tutti gli infissi, avremmo una riduzione del 19% circa le dispersioni per trasmissione, ma un tempo di ritorno dell'investimento pari a 40 anni.

Attraverso l'isolamento interno delle pareti con pannelli in lana di roccia, (quello esterno è impossibilitato dal vincolo imposto dalla Soprintendenza), avremmo una riduzione del 32% delle dispersioni, con un tempo di ritorno dell'investimento pari a 18 anni, riducibile a 9 grazie agli incentivi. Infine è stata fatta una combinazione degli interventi sopracitati, per verificare quale fosse lo scenario: una riduzione del 10% delle dispersioni con un tempo di ritorno dell'investimento pari a 18 anni. Calcolati i parametri energetici e stimati i costi, risulta molto importante effettuare delle analisi costi/benefici, utili nel problema di scelta della soluzione da adottare: gli interventi che comportano una maggiore diminuzione di energia primaria sono l'isolamento interno delle murature e la sostituzione di tutti gli infissi; mentre la maggiore possibilità di risparmio viene conseguita dalla sostituzione di tutti gli infissi e dalla coibentazione dei solai verso il sottotetto. Si consiglia, pertanto, l'intervento di coibentazione dei solai verso il sottotetto, abbinato alla sostituzione dei soli infissi deteriorati.

## **Bibliografia**

Conti P., Della Vista D., Fantozzi F., Fasano G., Grassi W., Manetti R., Menchetti E., Schito E., Signoretti P., Testi D., *Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario*, Report RdS/2011/143 ENEA

Cumo F., Fogheri A.M., Agnoli S., Centi G., Romeo C. 2013, *Lay-out di progetto di riqualificazione energetica di un edificio della PA ad uso scuola*, Report RdS-2013-152 ENEA

Fasano G., Romeo C., Zinzi M., Signoretti P., Iatauro D., Centi G., Di Pietra B., Costanzo E. 2013, *Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici*, Report RdS/2013/147 ENEA



---

## AUDIT INTEGRATO VIA VIRTUAL TOUR PER UNA SCUOLA DI BITONTO

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto



sopra  
prospetto  
principale  
della scuola  
primaria di  
Bitonto  
sotto a  
sinistra  
e destra  
laboratori  
didattico-  
educativi  
con gli  
studenti

Estratto dalla  
Tesi di Master  
di Ing. T.  
Cosola, A.A.  
2013/14,  
Relatore:  
Prof. Ing. G.  
Alcamo.

Il lavoro svolto riguarda un edificio scolastico all'interno del Comune di Bitonto, ed è finalizzato allo sviluppo dell'efficientamento energetico e delle tecnologie di rilievo digitale e termografico.

L'edificio oggetto di esame è la scuola primaria 'Don Tonino Bello di Mariotto' che presenta i caratteri architettonici propri degli anni '20-'30, con tipologia costruttiva in muratura portante. Considerato il fatto che la maggioranza delle scuole sul suolo italiano sono assimilabili, sia nella metodologia costruttiva che nella resa energetica, al caso studio, la procedura proposta può essere applicata anche ad altre scuole analoghe, al fine di rendere le azioni intraprese più efficaci.

Il lavoro svolto si basa su un audit integrato e partecipato che permetta l'individuazione di azioni coordinate di risparmio energetico. L'analisi svolta sulla scuola si articola in quattro fasi, a livello, sia tecnico-strumentale, che didattico-diagnostico.

La prima fase, quella preliminare, consiste in un 'walk-through audit': attraverso uno o più sopralluoghi, si perviene alla conoscenza diretta e indiretta di dati relativi agli elementi costruttivi e agli impianti; la seconda fase invece, quella strumentale, riguarda l'indagine diagnostica delle parti più significative dell'edificio e la valutazione delle condizioni di comfort termico e visivo, attraverso la percezione soggettiva degli utenti durante il normale svolgimento delle attività didattiche. La terza fase comprende l'analisi approfondita del sistema edificio-impianti, con l'ausilio di software di simulazione; propone inoltre soluzioni migliorative dal punto di vista termico e illuminotecnico. Infine, l'ultima fase verifica l'efficacia delle soluzioni proposte; i risultati di ciascuna fase di analisi sono stati integrati all'interno del virtual tour della scuola e messi a disposizione per uso scientifico-divulgativo.

L'audit preliminare, chiamato anche 'walk-through audit', vede nella realizzazione del virtual tour la possibilità di comunicare in maniera immediata le caratteristiche tipologiche e l'organizzazione spazio-funzionale della scuola oggetto di analisi.

Lo studio dei documenti storici d'archivio, il rilievo geometrico e fotografico, le informazioni sui consumi termici ed elettrici, l'analisi delle condizioni d'uso e di occupazione hanno



*sopra*  
**Copertura  
dell'edificio  
scolastico**

*sotto a sinistra*  
**Terminali di  
erogazione  
in ghisa del  
sistema di  
riscaldamento**

*sotto a destra*  
**Generatore  
del sistema di  
riscaldamento**



*pagina a fronte*  
*sopra a sinistra*  
**Restituzione  
termografia  
di porzione  
del prospetto  
principale**

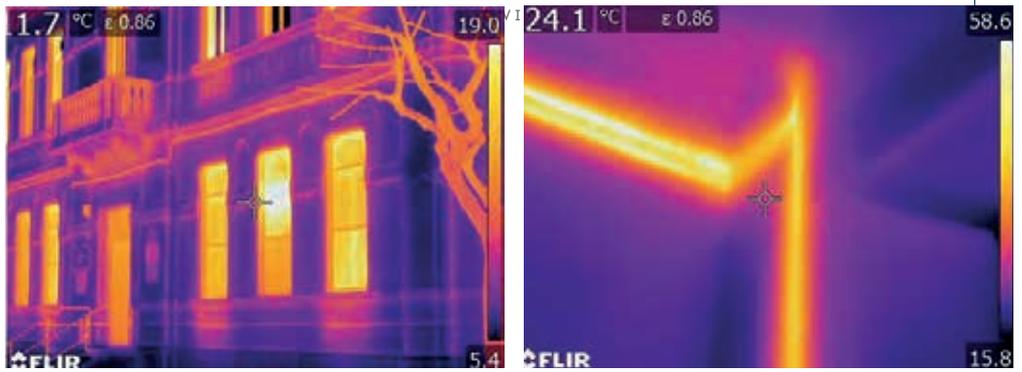
*sopra a destra*  
**Dettaglio parete  
e solaio in  
corrispondenza  
dell'impianto di  
riscaldamento**

*sotto a sinistra*  
**Dettagli della  
tipologia di  
solaio costituito  
con elementi di  
alleggerimento a  
bubbole**

*sotto a destra*  
**Termografia  
del sistema di  
distribuzione  
dell'impianto di  
riscaldamento**

permesso di formulare un quadro generale sullo stato di fatto dell'edificio. Allo stato di fatto, esso si articola in due livelli fuori terra; la tipologia costruttiva è in muratura portante che, spesso 70 cm, riduce il suo spessore a 30 cm in corrispondenza delle superfici finestrate. La copertura è piana e praticabile ma non isolata; presenta infatti un evidente stato di degrado che provoca fenomeni di infiltrazione nei locali sottostanti. Le chiusure trasparenti sono in alluminio, senza taglio termico e sprovviste di schermature.

Passando ad analizzare il sistema impiantistico, la scuola è dotata di un impianto di riscaldamento centralizzato, con sistema di distribuzione verticale; esso è alimentato da una caldaia a gasolio i cui terminali di erogazione sono radiatori in ghisa, sprovvisti di valvole termostatiche. L'edificio non è dotato di un sistema di raffrescamento, né di ventilazione meccanica controllata; di conseguenza il ricambio di aria è ottenuto con l'apertura delle finestre. Il sistema di illuminazione artificiale è costituito da apparecchi luminosi a soffitto dotati di lampade al neon e recentemente sostituiti. Secondo i dati forniti, i consumi elettrici, relativi al 2013, sono stati in totale pari a circa 8700 kWh, mentre per l'impianto di riscaldamento sono stati consumati, in media, 13.000 litri di gasolio. L'analisi degli aspetti distributivi e funzionali dell'edificio ha permesso di completare l'indagine preliminare: il profilo orario di occupazione della scuola, che ospita circa 100 alunni, va dalle ore 8.00 alle 13.30.



### **Fase strumentale**

La fase successiva, relativa all'audit strumentale di parti significative dell'edificio, si concretizza in misurazioni e indagini condotte in situ per approfondire il comportamento dell'edificio, analizzare gli eventuali difetti costruttivi e valutare le condizioni microclimatiche e illuminotecniche negli ambienti interni. Questa fase si caratterizza anche per il coinvolgimento degli studenti in laboratori didattico-educativi, attraverso l'utilizzo diretto delle strumentazioni di diagnosi e la compilazione di questionari di percezione del comfort termico, visivo e della qualità dell'aria.

La comprensione dei risultati ottenuti è facilitata grazie all'integrazione, nel virtual tour, di aree interattive connesse alle immagini termografiche, di info-point relativi alle analisi termiche e illuminotecniche e di icone specifiche sulle attività di laboratorio condotte con gli studenti. Le riprese termografiche degli ambienti interni ed esterni hanno permesso di determinare i ponti termici, aree di dispersione termica (cassonetti per le tapparelle o pareti sottofinestra), tubazioni non isolate e infiltrazioni d'aria e d'acqua.

L'analisi termografica relativa al prospetto principale della scuola esposto a Nord Est (immagine di fianco in alto), evidenzia un'ampia zona di dispersione termica, in corrispondenza della parete sottofinestra. Questo accade poiché in corrispondenza delle finestre si verifica una riduzione dello spessore della muratura, ma anche per la presenza dei radiatori che disperdono verso l'esterno. Dalla termografia, si deduce che la differenza di temperatura tra

*pagina a fronte sopra a sinistra*  
**Grafico sulla percezione soggettiva del comfort termico nell'aula Nord Est**

*sotto a sinistra*  
**Grafico sulla percezione soggettiva del comfort termico nell'aula Nord Ovest**

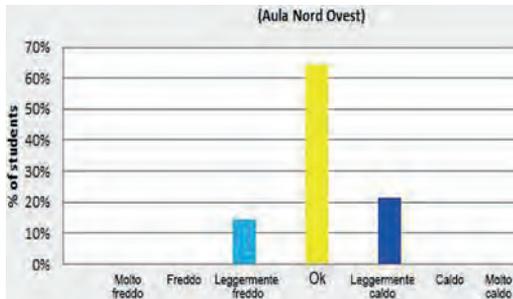
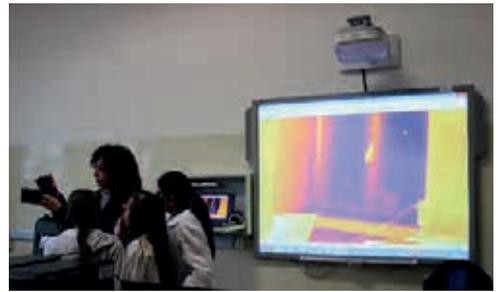
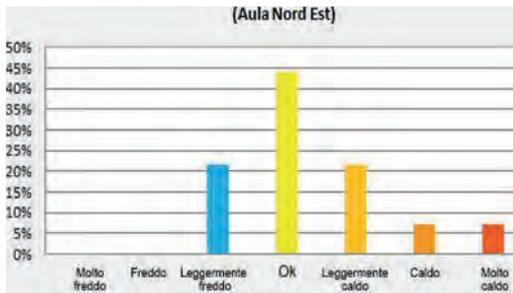
*a destra*  
**Immagine del laboratorio didattico sul comfort termico; 16. immagine del laboratorio didattico sul comfort termico**

la muratura e la superficie di dispersione termica, è prossima ai 5°C. Si è inoltre evidenziato che, nel sistema di distribuzione dell'impianto di riscaldamento, le tubazioni non isolate sono caratterizzate da una temperatura decisamente superiore (con un picco di 58,6°C) rispetto alla muratura circostante.

Attraverso la termografia è stato possibile determinare anche la diversità dei materiali utilizzati, grazie alla disomogeneità del comportamento termico che gli stessi esplicano. Analizzando il solaio intermedio, sono state evidenziate le caratteristiche costruttive: travi portanti di ferro doppio T, babbule di alleggerimento e riempimento in calcestruzzo. Il solaio di copertura, invece, è costituito da una orditura ortogonale di travi di ferro a doppio T e volterrane. Tale solaio rivela un'infiltrazione di acqua dovuta, probabilmente, alla mancata manutenzione dello strato di impermeabilizzazione; ciò ha determinato, e continua a provocare, fenomeni di umidità in più zone dell'edificio scolastico. In fase di riscaldamento, infatti, l'umidità contenuta nella muratura evapora assorbendo calore, e pertanto la zona umida risulta più fredda rispetto a quella adiacente, più asciutta.

Lo step successivo ha riguardato la scelta delle aule campione in cui svolgere un'analisi più approfondita: una esposta a Nord Est e una a Nord Ovest, entrambe collocate al piano terra. Le analisi condotte si sono incentrate sulla valutazione delle variabili microclimatiche, quali temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, attraverso l'utilizzo di apposita strumentazione. Inoltre, al fine di individuare eventuali fenomeni di abbagliamento dovuti alla luce naturale, la valutazione dell'illuminamento è stata estesa anche all'aula del primo piano esposta a Sud Est.

Il successivo step di analisi è stato quello della valutazione delle condizioni di comfort termico e visivo attraverso il coinvolgimento degli studenti; questi hanno utilizzato direttamente le strumentazioni di diagnosi (termoigrometro con collegamento bluetooth, anemometro, termocamera, luxmetro), ed hanno espresso giudizi sul loro stato di comfort termico e visivo, sulla base di una scala di percezione indicata dagli standard ASHRAE. Sulla base della scala proposta dall'ASHRAE, gli studenti hanno compilato i questionari messi a loro disposizione per l'indicazione della percezione soggettiva del comfort termoigrometrico. Dopo aver indicato il tipo di attività svolta in quel momento all'interno dell'ambiente e il tipo di vestiario (parametri caratterizzanti le variabili soggettive), gli studenti hanno misurato la temperatura dell'aria interna, l'umidità relativa, la temperatura delle pareti interne e la velocità dell'aria. I risultati ottenuti dalle misure in sito e relativi all'aula Nord Est hanno dimostrato che la percezione di comfort termico è: buona per il 44%, leggermente caldo per il 21% e leggermente freddo per il 21%, caldo per il 7% e molto caldo per il 7%.



Quello che si evidenzia è che in inverno, nel caso in cui si avverta una sensazione di leggermente caldo o caldo, non si può intervenire nel ridurre la temperatura interna a causa della mancanza di valvole termostatiche sui radiatori, e di termostati di zona che regolino la temperatura.

L'aula esposta a Nord Ovest, a differenza dell'aula esaminata precedentemente, presenta una duplice esposizione e i radiatori sono posizionati in corrispondenza delle pareti sotto-finestra; qui la percezione di comfort termico è: accettabile per il 64%, leggermente caldo per il 21% e leggermente freddo per il 14%. Successivamente alla valutazione del benessere termico, è stato possibile rilevare anche la condizione di comfort visivo relativamente alle aule già considerate.

Come suggerito dalle linee guida del MIUR, la quantità e la qualità della luce, e la distribuzione dei corpi illuminanti sono tre elementi che, combinati nella giusta misura, determinano un paesaggio luminoso che supporti l'ipotesi di uso. Lo studio dei valori di illuminamento, all'interno delle aule campione selezionate, è stato integrato alla valutazione della condizione di benessere degli studenti.

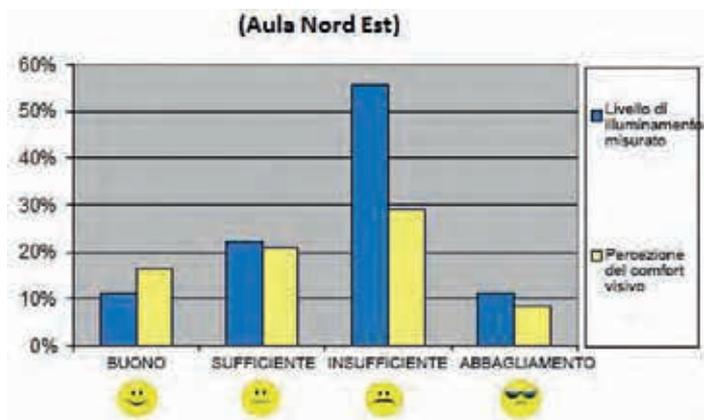
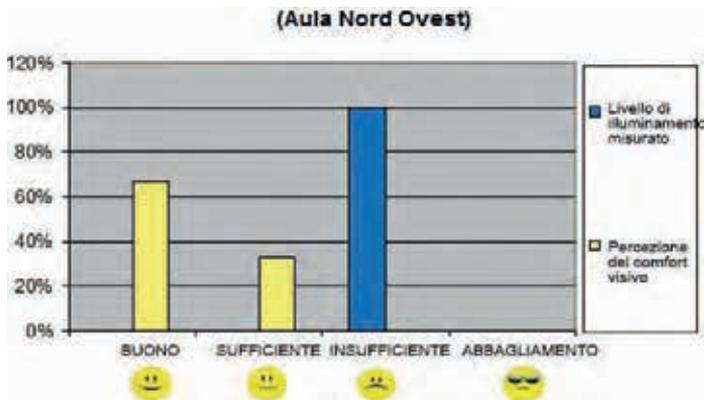
Anche in questo caso, le misurazioni strumentali sono state integrate all'interno di laboratori didattici dedicati al benessere visivo e all'efficienza energetica, che hanno consentito agli studenti di utilizzare direttamente gli strumenti di misura.

Ai fini della valutazione, i questionari sono stati strutturati in modo da contenere l'indicazione delle condizioni di cielo, dell'ora, del valore di illuminamento esterno e di quello registra-



**Grafico riassuntivo della percezione del comfort visivo e dei lux misurati nell'aula Nord Est**

sotto  
**Grafico riassuntivo della percezione del comfort visivo e dei lux misurati nell'aula Nord Ovest**



*pagina a fronte*  
**Immagine del laboratorio didattico sul comfort termico**

*a destra*  
**valori dell'illuminamento misurati nell'aula Nord Est**

to sul banco di ciascuno studente. L'indicazione della percezione soggettiva è stata articolata in quattro categorie: buona, sufficiente, insufficiente e abbagliamento. Il rilievo è stato svolto in condizione di cielo coperto.

I risultati ottenuti dal rilievo illuminotecnico della luce naturale all'interno dell'aula esposta a Nord Est sono riportati di seguito. Si evidenzia come i banchi posizionati vicino la parete finestrata siano caratterizzati da valori di illuminamento maggiori rispetto a quelli lontani dalle finestre, ma al tempo stesso si evidenzia che le murature, con il loro spessore, provocano zone di ombra e quindi una riduzione dell'illuminamento.

Per quanto riguarda la valutazione del benessere visivo, per il 17% degli studenti la percezione del comfort visivo è buona, per il 21% la luce all'interno dell'aula risulta sufficiente, per il 29% è insufficiente, mentre l'8% è in condizione di abbagliamento. L'11% dei valori di illuminamento misurati risulta buono, il 22% è sufficiente e il 56% è insufficiente.



Lo stesso è stato fatto nell'aula con esposizione Nord Ovest, dove per il 67% degli studenti la percezione del comfort visivo è buona, mentre per il 33% la luce all'interno dell'aula risulta sufficiente. I valori di illuminamento misurati sono tutti al di sotto del valore limite normativo, fissato a 300 lx.

La terza fase di audit prevede l'analisi approfondita del sistema edificio-impianti attraverso l'utilizzo di software di simulazione, e la proposta di soluzioni di miglioramento energetico dal punto di vista termico e visivo.

Partendo dallo studio delle caratteristiche termo-igrometriche, utilizzando il software Termus-G, il primo step di approfondimento ha riguardato la diagnosi energetica dell'edificio e la determinazione della classe energetica e del fabbisogno di energia primaria, seguendo la metodologia indicata dalle Norme UNI 11300 parti 1-2.

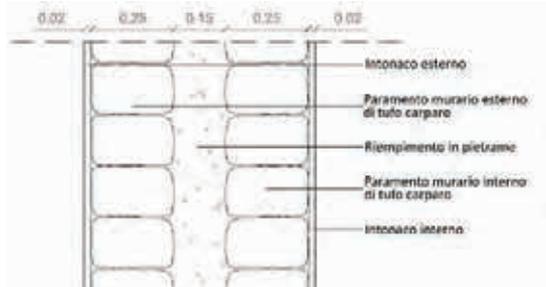
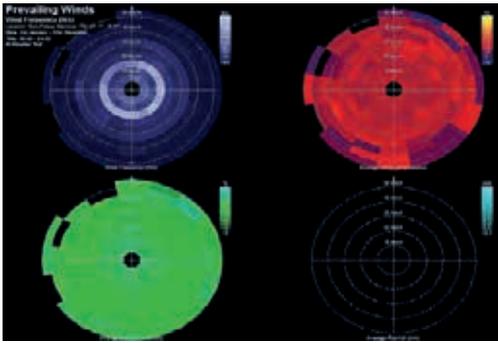
Sono state dunque individuate le stratigrafie dei componenti dell'involucro: chiusura verticale esterna, chiusura esterna sottofinestra, chiusura orizzontale di base e di copertura, e su di esse si è evidenziato che il confronto con il valore ottenuto dalla stratigrafia dell'edificio scolastico, supera quello limite.

Il livello successivo di approfondimento ha riguardato l'analisi delle prestazioni termiche dell'involucro e dell'impianto, attraverso l'utilizzo del software ECOTECT.

La simulazione ha permesso di valutare la distribuzione della temperatura interna, le ore di comfort e di discomfort, i guadagni e le perdite di calore e i percorsi solari al variare dei giorni e delle ore della giornata. Per la valutazione delle condizioni di illuminazione all'interno delle aule campione selezionate, è stato utilizzato il software RELUX.

Per ogni aula considerata è stato possibile ricavare i valori del fattore di luce diurna, dell'illuminamento medio, dell'uniformità e dell'abbagliamento in condizioni di luce naturale, artificiale e combinata. I valori ottenuti sono stati poi confrontati con i livelli minimi richiesti dalla normativa per la tipologia di attività selezionata.

Sulla base dei dati forniti, i risultati ottenuti dalla simulazione software indicano che la classe



↑  
sopra a sinistra  
21. Grafici  
rappresentativi  
delle  
caratteristiche  
dei venti  
dominanti nella  
zona climatica  
selezionata

sopra a destra  
Grafico delle  
prestazioni  
energetiche  
globali e parziali

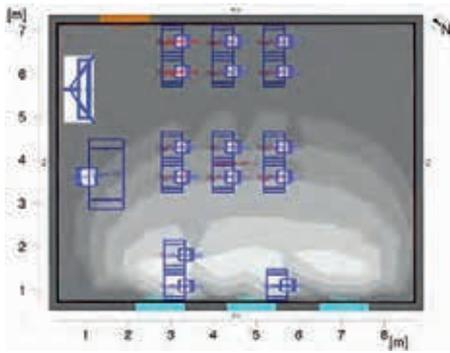
sotto a sinistra  
Modello  
tridimensionale  
realizzato in  
Ecotect

sotto a destra  
Stratigrafia  
della chiusura  
verticale esterna

energetica di appartenenza dell'edificio è la G e l'EPgl, indice di prestazione energetica globale, è pari a circa 36 kWh/m<sup>3</sup>anno.

Per quantificare l'apporto di luce naturale e artificiale nel rispetto del comfort visivo, è stato utilizzato il software Relux. Le analisi sono state condotte su un'aula Nord Est, una esposta a Nord Ovest e una a Sud Est. Per le tre aule considerate la zona climatica imposta è quella di Bari e le superfici di misurazione sono state collocate ad un'altezza di 75 cm da terra, in modo da considerare gli apporti di luce alla quota dei banchi. Una volta impostate le aree di misurazione, sono state definite le zone d'uso e i valori limite di legge. Per valutare l'illuminazione naturale nell'aula esposta a Nord Est, è stato analizzato il fattore di luce diurna medio, calcolato in condizioni di cielo coperto.

Sebbene il valore del fattore di luce diurna medio sia uguale a quello limite imposto dalla normativa, l'uniformità di illuminamento presenta un valore molto al di sotto di quello limite imposto dalla normativa. Anche per i valori dell'illuminamento nella condizione di luce naturale, non sono rispettati i valori minimi imposti dalla normativa. Risulta infatti un illuminamento medio inferiore rispetto ai minimi imposti. Le condizioni di illuminazione insufficienti derivano dall'esposizione dell'aula e dalle caratteristiche geometriche dell'aula. Successivamente è stata effettuata l'analisi delle condizioni di illuminazione artificiale dei corpi illuminanti installati nell'aula, della loro potenza e della loro disposizione. Nell'aula sono infatti presenti quattro apparecchi a soffitto con potenza di 70 W ciascuno.



sopra a sinistra. Grafico rappresentante l'illuminazione naturale dell'aula esposta a Nord Ovest  
 sopra a destra. Distribuzione tridimensionale dell'illuminamento nell'aula Nord Est in condizioni di luce naturale  
 sotto. Modello tridimensionale della distribuzione della luminanza e dell'illuminamento in condizioni di luce combinata.

Dai dati ottenuti si ricava che l'illuminamento medio è inferiore ai limiti di normativa, sebbene il valore dell'uniformità sia prossimo a quello limite. Dunque i livelli di illuminazione artificiale raggiunti sono insufficienti.

Per l'aula Nord Est i risultati sono, analogamente a quelli dell'aula precedentemente, scoraggianti e oltre i livelli indicati da normativa, per i valori di illuminazione sia naturale, che artificiale.

### Scenari di risparmio energetico

L'interpretazione dei risultati ottenuti ha permesso di individuare le possibili strategie e gli ambiti di intervento per il sistema edificio-impianti. Le soluzioni proposte sono state suddivise per categorie di costo, e per ciascuna di esse è stato possibile individuare il risparmio e la classe energetica raggiungibile. Gli interventi previsti riguardano: chiusure verticali esterne opache, copertura, chiusure esterne trasparenti, impianto di riscaldamento e di illuminazione.

Insieme alle misure di contenimento energetico da attuarsi sull'edificio scolastico, sono state formulate delle ipotesi di miglioramento della gestione della scuola attraverso il ripen-



**Esempio di pannelli termo riflettenti da applicare dietro i radiatori della scuola**



*pagina a fronte sopra e al centro a sinistra*  
**Distribuzione della luminanza tridimensionale in condizioni di luce artificiale**

*sotto a sinistra*  
**Resa tridimensionale delle schermature solari, come da progetto**

*sopra a destra*  
**Vista del prospetto principale nel virtual tour della scuola**

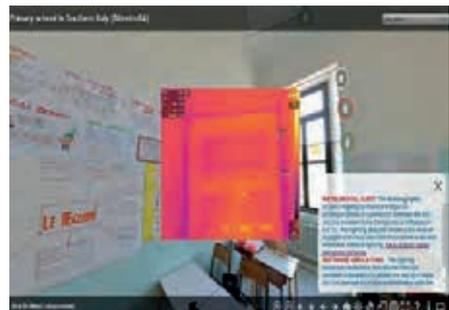
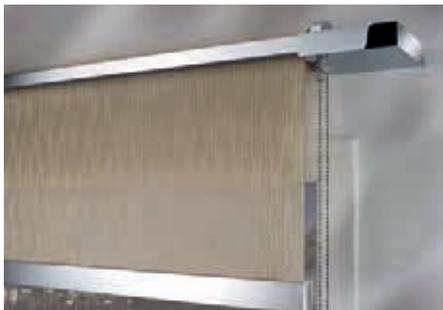
*al centro a destra*  
**Integrazione della fase preliminare di audit nel virtual tour**

*sotto a destra*  
**Integrazione della fase strumentale di audit nel virtual tour**

samento dei comportamenti degli utenti in chiave sostenibile: agli studenti sono stati consegnati dei suggerimenti (energy saving tips) per ridurre la quantità di emissioni di gas serra prodotte a scuola. L'intervento di miglioramento della performance della chiusura verticale esterna prevede diverse opzioni: introduzione di pannelli termoriflettenti dietro i radiatori (che consentirebbero di migliorare il rendimento dei corpi scaldanti di circa il 10% e di risparmiare il 12% di energia totale); isolamento termico della parete sottofinestra; isolamento e rifacimento dello strato di tenuta all'acqua della copertura; sostituzione degli infissi esistenti con altri più performanti.

Procedendo invece con l'isolamento termico della parete sottofinestra, si evidenziano sia miglioramento in termini di trasmittanza, che di sfasamento termico, ma il risparmio energetico che si può raggiungere è irrisorio rispetto all'entità dei consumi; lo stesso vale sostituendo gli infissi esistenti con nuovi. Isolando la copertura, il risparmio energetico sarebbe di circa il 15%, anche se non avverrebbe alcuna variazione di classe energetica. Gli stessi studi sono stati fatti su scenari per interventi sugli impianti.

Le misure di miglioramento previste per l'impianto di riscaldamento sono: applicazione di valvole termostatiche sui radiatori, e di termostati di zona per la regolazione climatica; sostituzione del generatore di calore esistente con uno alimentato a biomassa; sostituzione dell'impianto di riscaldamento con un sistema a pompa di calore munito di pannelli radianti a soffitto; infine predisposizione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. La sola applicazione delle valvole termostatiche su ciascun radiatore consente di ottenere un risparmio energetico di circa il 17%, a fronte di un costo dell'intervento basso (il prezzo di mercato delle stesse si aggira infatti intorno a 50 €/pz). L'intervento di costo medio previsto per l'impianto di riscaldamento riguarda la sostituzione del generatore a gasolio con un generatore a biomassa (utilizzante residui arborei derivanti dalla coltivazione dell'ulivo). Tale scelta è stata dettata dalla forte vocazione agricola del sito in cui sorge la scuola, dalla volontà di valorizzare energeticamente i residui della coltivazio-



ne e di creare una filiera corta di approvvigionamento. Attraverso la simulazione energetica, è stato possibile valutare il risparmio energetico ottenuto e la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in ambiente: 95% rispetto al sistema installato. Il risparmio energetico ammonterebbe al 65% e la classe energetica salirebbe dalla 'G' alla 'C'. Sostituire infine l'impianto di riscaldamento con un sistema a pannelli radianti, la cui energia necessaria al funzionamento verrebbe prelevata dai pannelli fotovoltaici, consentirebbe addirittura di salire ad una classe energetica pari a 'A+', con un risparmio energetico del 98%. Per quanto riguarda i corpi illuminanti, si consiglia l'adozione di sorgenti luminose a risparmio energetico (LED) disposte in maniera omogenea all'interno dell'aula, e l'installazione di sistemi schermanti la luce naturale dall'esterno.

I risultati, ricavati da ciascuna fase di audit, sono stati assemblati in un tour virtuale della

scuola; tale prodotto individua le parti più significative del sistema edificio-impianti e fa una previsione degli interventi migliorativi. In questa maniera si consente, sia di rendere le informazioni più accessibili agli stakeholders, tramite il collegamento Internet al sito preposto, che di sensibilizzare la comunità sul tema della sostenibilità, attraverso la divulgazione dei risultati ottenuti. Ciascun elemento significativo è stato evidenziato all'interno di un'area di selezione grigia: i risultati delle diverse fasi di audit sono stati poi suddivisi in tre infopoint di colore diverso. L'infopoint di colore bianco individua la 'fase preliminare', quello rosso indica la 'fase strumentale' e infine, l'infopoint di colore verde applicato su ciascun elemento, individua la fase 'Simulazione software e soluzioni possibili di miglioramento'. Cliccando su ciascun infopoint, è possibile accedere ai risultati delle simulazioni effettuate. Le soluzioni di miglioramento energetico sono suddivise per categorie di costo, e per ciascuna di esse è possibile accedere al link che individua la classe e il risparmio energetico raggiungibili. Così, la scuola si configura come un teaching tool in cui l'edificio stesso diventa uno strumento educativo per la formazione di una coscienza ambientale degli utenti. Si ritiene che l'utilizzo del tour virtuale integrato rappresenti uno strumento strategico di comunicazione tra le diverse parti interessate, di supporto nel processo decisionale e di valutazione dell'efficacia degli interventi proposti e realizzati. Grazie al carattere di replicabilità degli scenari di miglioramento energetico delineati, può essere così utilizzato come verifica preliminare all'attuazione di interventi di retrofitting in altri edifici scolastici con caratteristiche costruttive comparabili. Inoltre la disponibilità telematica del sistema dà la possibilità di coinvolgere gli studenti così sensibilizzati.

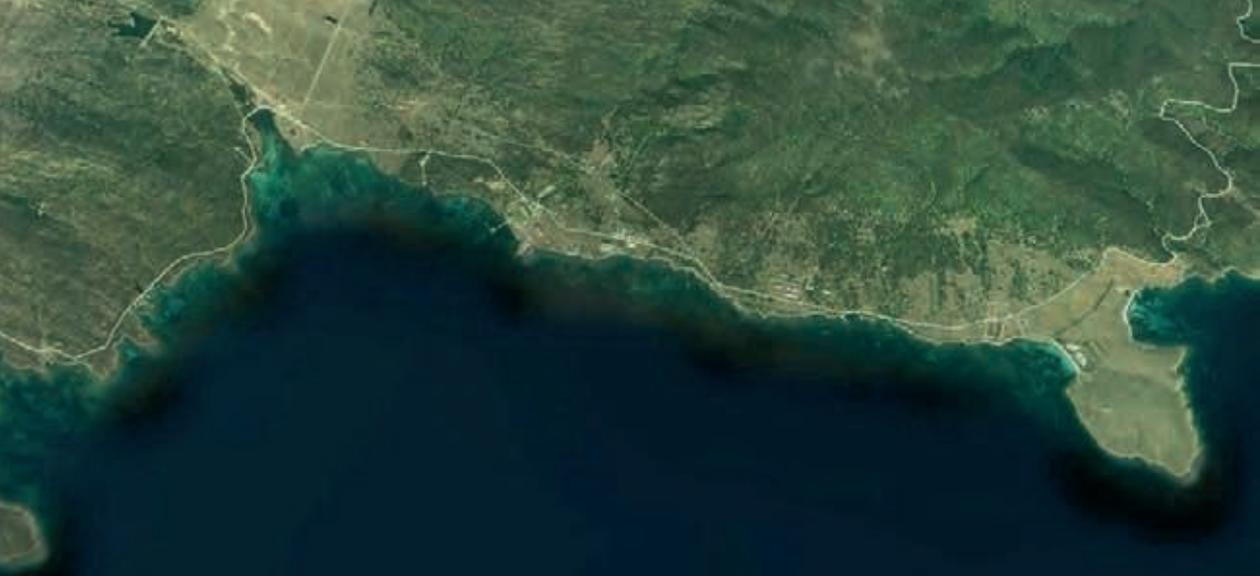
## **Bibliografia**

Antonini E., Boeri A. 2011, *Progettare scuole sostenibili. Criteri, esempi e soluzioni per l'efficienza energetica e la qualità ambientale*, Edicom Edizioni.

Chaves F., Vieira A. C. V. 2014, *Indoor air quality and thermal comfort in an educational building – case study. 40th IAHS World Congress on Housing: Sustainable housing construction*, Funchal, Madeira, pp. 120-130.

Dall'O G., Gamberale M., Silvestrini G. 2013, *Manuale della certificazione energetica degli edifici. Norme, procedure e strategie di intervento*, Edizioni Ambiente.

Lassandro P., Tundo A. 2014, *Energy audit and comfort evaluation of a school building with the students' participation. 40th IAHS World Congress on Housing: Sustainable housing construction*, Funchal, Madeira, pp. 1-10.



---

# SARDEGNA GREEN BUILDING. ANALISI DEL FABBISOGNO ENERGETICO IN EX COMPLESSO CARCERARIO NELL' ISOLA DELL' ASINARA

---

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Af·itto



sopra

**Inquadramento urbanistico dell'isola dell'Asinara**

al centro

**Complesso edilizio del Secondo Periodo**

Il lavoro proposto, nato all'interno del contesto naturalistico del Parco Nazionale dell'isola dell'Asinara, offre spunto a riflessioni sul futuro dell'edilizia, sul modus operandi e sulle best practices da seguire in una progettazione che si vuole definire sostenibile.

sotto a sinistra

**restituzione tridimensionale dell'area oggetto di studi**

Il lavoro svolto, trattante uno dei complessi edilizi abbandonati che tessono la rete di punti di interesse sulla mappa geografica dell'Asinara, ha lo scopo di andare a riscoprire e dare nuova vita a questo luogo, alle sue risorse congenite e ai metodi costruttivi autoctoni. La Sardegna, infatti, è la prima regione italiana per produzione di sughero, vanta un utilizzo straordinario in campo edile della lana di pecora, e ha una consolidata memoria storica inerente alle costruzioni in mattoni di terra cruda.

sotto a destra

**Edificio identificato come ex casa del Direttore**

Estratto dalla Tesi di Master di Arch. E. Chiti, A.A. 2015/16, Relatore: Prof. Arch. A. Trombadorei

In questo lavoro si cerca di far emergere tutto ciò, rendendolo fundamenta delle scelte progettuali, volte alla riqualificazione e all'efficientamento energetico, di uno degli edifici del complesso di Secondo Periodo che viene destinato a struttura ricettiva. Per fare ciò è stato utilizzato un software che non lavorasse in regime stazionario, bensì in quello dinamico di Ecotect, permettendo così di specificare nel dettaglio le informazioni di progetto. La stima dei costi dei materiali impiegati, la valutazione dei sistemi passivi di controllo della radiazione solare e l'analisi delle tipologie di impianto utilizzabili, portano a conclusione la proposta progettuale.

Il risultato è la generazione di una terna di soluzioni che permette la comparazione immediata dei risultati e la scelta dello scenario progettuale migliore, nell'ottica della sostenibilità ambientale ed economica.

## **Stato di Fatto e criteri progettuali**

L'area di intervento è quella di Secondo Periodo, un complesso di sei edifici sorgente ad Est della zona di Cala Reale, a Nord-Ovest della Sardegna. La sua struttura sorge in successione agli altri Periodi, come la profilassi sanitaria imponeva.

Gli edifici che lo compongono sono disposti in maniera simmetrica rispetto ad un'asse centrale, con culmine nella casa del Direttore Sanitario. Ogni costruzione evidenzia l'andamento modulare del complesso, espresso attraverso l'interasse costante delle aperture e delle lesene in facciata.

➔  
Aero-  
fotogrammetria  
dell'area oggetto  
di studi

a destra  
Edilizia che  
ha mantenuto  
nel tempo  
il carattere  
primordiale



Ogni unità si affaccia sia sul fronte monte che su quello mare, al fine di massimizzare la ventilazione e l'irraggiamento; inoltre, sviluppandosi il complesso linearmente in direzione Sud-Ovest, sfrutta al meglio il soleggiamento e quindi il comfort degli ambienti. Essendosi, tra i vari elementi che compongono il complesso, un'ampia distanza tra i corpi, si permette ad ogni unità la possibilità di godere della massima visibilità e illuminazione. Per quanto riguarda la tecnologia costruttiva, la muratura è in pietrame misto, ma vi sono anche ampliamenti in calcestruzzo, visibili dall'esterno, e soprattutto sulle coperture. Solamente due edifici mantengono il perfetto carattere primordiale, manifestato dal tetto a falde spioventi con un dettaglio di gronda molto raffinato, realizzato dalla sovrapposizione di due corsi sfalsati di laterizi. La copertura, dove non sostituita da quella piana in calcestruzzo, rivela una doppia orditura lignea rivestita da un particolare manto di tegole romboidali. La tessitura muraria a vista, gli elementi decorativi lacunosi, le tramezzature interne piegate dagli agenti atmosferici, rivelano lo stato di degrado del complesso, nonostante ciò il valore architettonico è innegabile.

pagina a fronte  
sopra a sinistra  
Materassino  
isolante in lana  
di pecora

sopra a destra  
Materiali  
riciclati quali  
inerti per  
sottofondo

sotto a sinistra  
Mattoni e  
pannelli in terra  
cruda

sotto a destra  
materiali  
riciclati quali  
finiture naturali

Per quanto riguarda i dati climatici dell'isola, l'acqua è appena sufficiente per garantire il soddisfacimento del fabbisogno, mentre le temperature, sia in inverno che in estate, sono molto miti, tipico delle aree mediterranee. Dallo studio del clima si possono dedurre alcune osservazioni utili per la progettazione, infatti esso indica che non serviranno grossi apporti energetici per soddisfare i bisogni di riscaldamento, ma che sarà sufficiente sfruttare con intelligenza gli apporti gratuiti del sole. Durante picchi di alte temperature estivi, è essenziale schermarsi dal sole ed avere un involucro con un buon valore di trasmittanza, buone capacità di sfasamento e di smorzamento.

La strategia, che è sembrata più idonea, prevede di incrementare la massa delle pareti perimetrali, favorire la ventilazione interna, sistemare le coperture, e introdurre sistemi di schermatura solare. Risultano importanti anche i materiali utilizzati nella costruzione. Nell'ottica della progettazione bioclimatica e sostenibile, sono da prediligere quelli loca-



li, quindi a km 0; la filiera corta, infatti, fa risparmiare sui costi di trasporto e incentiva l'economia locale. I materiali selezionati sono: il legno per le strutture, la terra cruda per i tamponamenti, inerti riciclati, sughero e lana di pecora per isolare, infine scarti vegetali per le finiture. L'edificio oggetto di analisi, secondo il progetto di riqualificazione, è la struttura ricettiva, composta da sette unità abitative del tipo duplex, con due livelli fuori terra e copertura inclinata ad una falda. Al piano terra si trovano le zone giorno, con accesso dal lato nord dell'edificio e che si affacciano, con grandi pareti vetrate, su un cortile interno.

Al piano superiore la superficie utile si dimezza, lasciando un doppio volume sulla zona giorno ed ospitando, nel restante spazio, la zona notte.

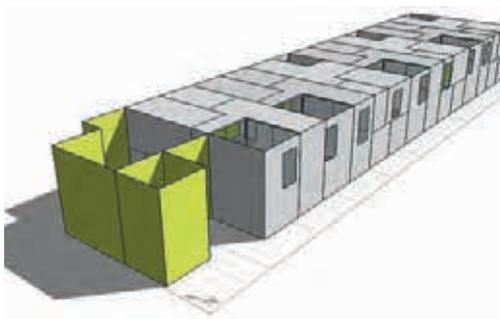
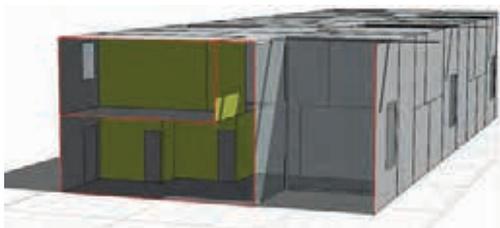
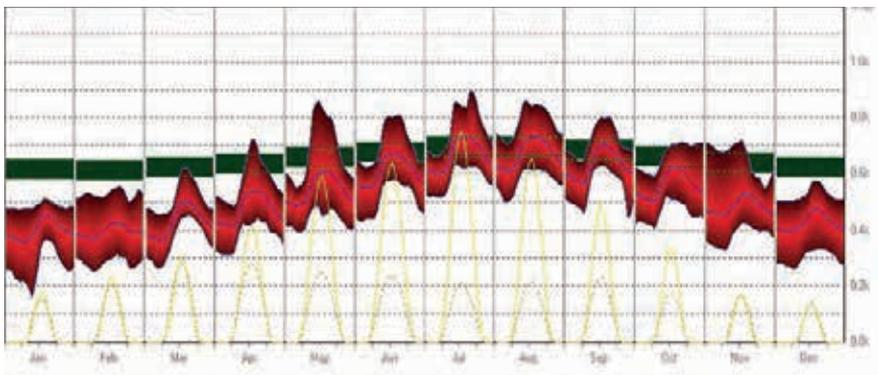
Nell'analisi del modello energetico è stato utilizzato il Software Ecotect, programma che si muove in regime semi-dinamico e che restituisce un'analisi molto dettagliata; ovviamente, per ottenere gli output richiesti, sono necessari molti dati di entrata, primo tra tutti il file climatico ma anche la geometria dell'edificio, le stratigrafie delle sue componenti, il profilo di



sopra  
Ecotect, profilo  
climatico della  
località di  
Alghero

a destra  
Ecotect, altezza  
solare durante i  
due solstizi

a sinistra  
Modello  
energetico  
della stecca  
residenziale con  
individuazione  
delle zone  
termiche

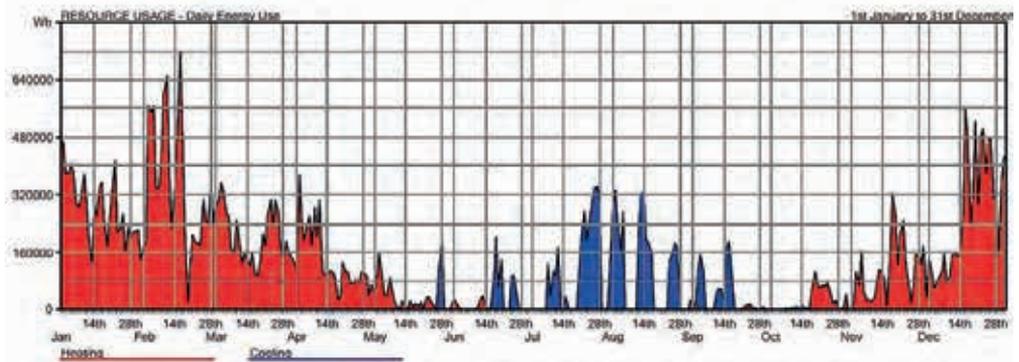


utilizzo dei locali, il tipo di climatizzazione ipotizzato e l'efficienza degli impianti. Tali parametri, ai fini dell'analisi del fabbisogno energetico dell'edificio, sono stati mantenuti costanti.

Il profilo climatico della località utilizzata è stato quello di Alghero, in quanto file più vicino all'area di progetto tra le zone disponibili in archivio. In alto è riportata la scheda del file climatico in questione, con indicazione dei valori medi mensili delle temperature, dell'umidità e della velocità dei venti.

Nella creazione del modello energetico, la stecca delle residenze è stata costruita consi-

pagina a fronte  
Ecotect, calcolo  
del fabbisogno  
energetico  
annuale dal  
1 gennaio al  
3 dicembre,  
relativo alla  
prima ipotesi  
progettuale



derando i sette appartamenti indipendenti l'uno dall'altro dal punto di vista termico. Per questo sono state costruite sette distinte zone termiche. Una volta definita la 'scatola' dell'edificio, sono state inserite le aperture verso l'esterno e quelle di collegamento tra gli ambienti interni. La copertura è stata invece semplificata, riconducendola ad un tetto e facendo attenzione a lasciare invariato il volume; tale procedura è stata effettuata con approssimazione per eccesso. Per l'edificio, che rappresenta una struttura ricettiva, legata dunque all'andamento dell'afflusso turistico sull'isola, era necessaria, al fine di ottenere un calcolo il più veritiero possibile, un'accurata modulazione dei flussi di affluenza, in base alla bassa o alta stagione considerata. Questi dati sono stati importanti per determinare, all'interno del calcolo, gli apporti gratuiti degli occupanti: numero di persone, tipologia di abbigliamento, tipologia di attività svolta, infiltrazioni e ricambi d'aria.

Il primo scenario di intervento proposto ricalca il più possibile i criteri progettuali, dove vengono analizzati gli elementi costruttivi facenti parte dell'involucro: pareti verticali esterne (opache e trasparenti); solaio contro terra e solaio di copertura.

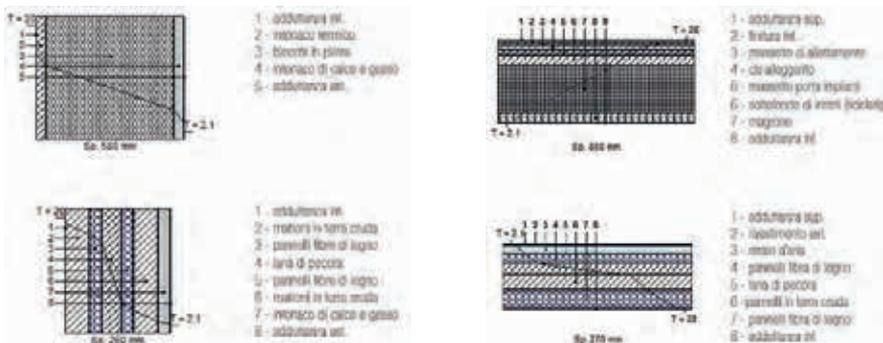
La scelta architettonica principale di questo scenario è quella del minimo intervento sull'esistente: le pareti in pietrame vengono semplicemente ripulite ed intonacate, senza prevedere l'uso di uno strato di pannelli isolanti. Questa scelta è supportata dall'alto valore di sfasamento della parete (10,72 h), che permette un accettabile controllo delle temperature interne, e dall'utilizzo di un intonaco termico.

Per la creazione di corti interne ex-novo, la stratigrafia utilizzata prevede due filari di mattoni in terra cruda che contengono elementi in legno, a sostegno dello strato isolante in lana di pecora. All'interno non è prevista nessuna intonacatura, sfruttando le proprietà termo igrometriche dell'argilla che garantiscono il comfort interno.

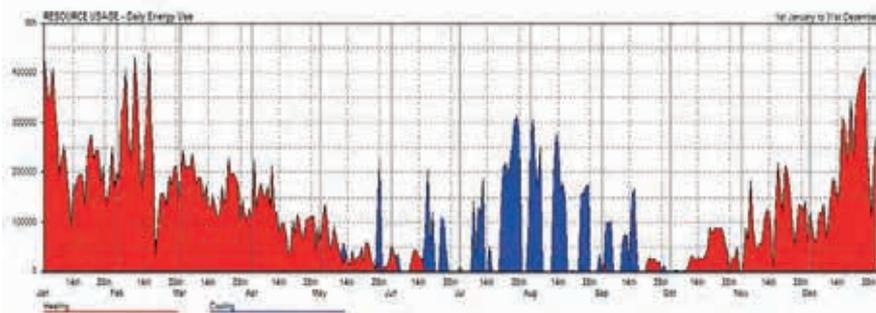
Per il solaio contro terra, l'esigenza era quella di isolare dal terreno; si è dunque optato per l'utilizzo di materiali locali, in particolare gli inerti del sottofondo che provengono dalla filiera del riciclo di materiali edili dismessi.



sopra  
Termus G,  
stratigrafie delle  
componenti  
opache e  
determinazione  
delle  
trasmissioni,  
relative alla  
prima ipotesi  
progettuale



sotto  
Ecotect, calcolo  
del fabbisogno  
energetico  
annuale dal  
1 gennaio al  
31 dicembre,  
relativo alla  
seconda ipotesi  
progettuale.



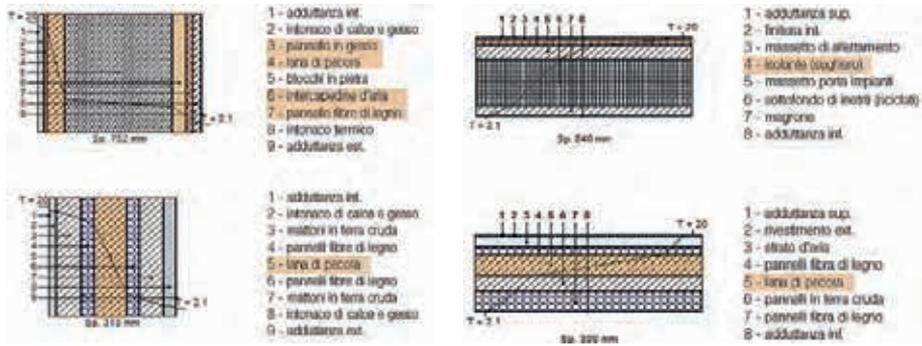
Nel solaio di copertura sono stati adottati pannelli di legno, pannelli in terra cruda e lana di pecora per isolare. Infine, per quanto riguarda le chiusure tecniche trasparenti, sono stati presi in considerazione infissi con telaio in legno e doppio vetro. Tutte le soluzioni proposte sono state valutate mediante il software Termus-G. Determinate tutte le stratigrafie, sono stati riportati i materiali su Ecotect, in modo tale da applicarli al modello energetico in 3D. Dopo aver definito la geometria dell'edificio, l'orientamento, il file climatico e l'applicazione dei materiali, sono state inviate le analisi energetiche per determinare il fabbisogno energetico in due periodi dell'anno: dal 15 novembre al 31 marzo, l'altro dal 1 aprile al 14 novembre.

pagina a fronte  
Termus G,  
stratigrafie delle  
componenti  
opache e  
determinazione  
delle  
trasmissioni,  
relative alla  
seconda ipotesi  
progettuale

## Seconda e Terza Ipotesi Progettuale

Sulla base del fatto che esiste un divario tra i valori di trasmittanza dei singoli elementi della prima ipotesi progettuale e i limiti imposti da legge, sono state prese delle decisioni che costituiscono la seconda ipotesi; in particolar modo, sono state apportate delle modifiche alle stratigrafie evidenziate nei successivi grafici.

Le pareti esterne in pietrame presentano adesso un cappotto interno in lana di pecora ed



un'intercapedine d'aria nella parte esterna, in modo da creare una facciata ventilata. La facciata ventilata influisce sulla traspirabilità della parete e la protegge, allo stesso tempo, dagli agenti atmosferici.

Per quanto riguarda il pacchetto edilizio, per la muratura perimetrale verticale in terra cruda, questa presentava già valori medio-buoni; è stato dunque sufficiente aumentare lo strato isolante di pochi centimetri per raggiungere il risultato atteso.

Stessa cosa per il solaio contro terra, dove è bastato inserire 5 cm di isolante; nel dettaglio, è stato scelto il sughero, e non la lana di pecora, in quanto più semplice da posare in opera in un solaio di calpestio. Infine la stratigrafia del solaio di copertura è stata portata ai livelli minimi imposti da normativa agendo, anche qui, esclusivamente sullo spessore dell'isolante.

Anche le prestazioni degli infissi sono state ipotizzate più performanti, passando da una trasmittanza totale di 2, nella prima ipotesi, ad una di 1.8. Una volta valutati i cambiamenti con termus-G, si procede all'applicazione dei nuovi pacchetti sul modello energetico in Ecotect, per valutarne i miglioramenti.

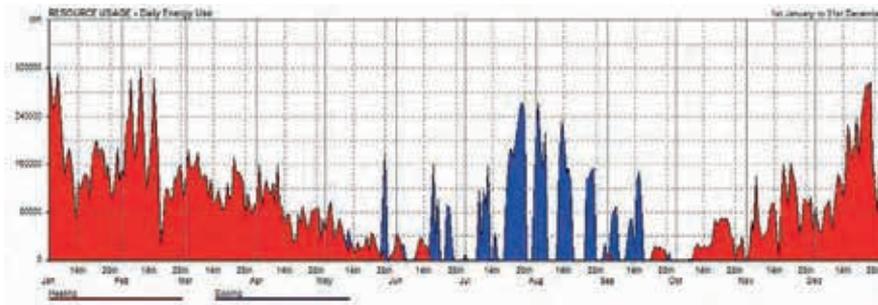
Si è subito notato un decremento del fabbisogno, mentre sono rimasti pressoché costanti i periodi di picco energetico: gennaio e la prima metà di febbraio per quanto riguarda il riscaldamento; agosto e la prima metà di settembre per quel che concerne il raffrescamento.

Il terzo scenario propone soluzioni ancora più performanti, inferiori a quelli imposti dalla normativa, con lo scopo di valutare quanto influiscano tali decisioni progettuali sul fabbisogno dell'edificio.

Per quanto riguarda la parete in blocchi di pietra, in questa proposta l'isolamento in lana di pecora è stato portato nella parte esterna della parete, lasciando invece inalterata, rispetto alla proposta del secondo scenario, la parete ventilata.

La stratigrafia così composta lavora in primis attraverso l'isolante, che abbatte le calde temperature in entrata, per poi lasciare campo alla grande inerzia della muratura in pietra. Anche

➔  
**Ecotect, calcolo del fabbisogno energetico annuale dal 1 gennaio al 3 dicembre, relativo alla terza ipotesi progettuale**



nella muratura di nuova realizzazione viene introdotta la facciata ventilata, mentre si lascia inalterata la restante stratigrafia.

Il risultato mostra un abbattimento del valore di trasmittanza di circa il 21%, ed uno sfasamento che passa da 11 ore a circa 8 ore, ritenuto accettabile. Nel solaio contro terra viene sostituito l'isolante in sughero con la lana di pecora, ed introdotto un pavimento flottante che contiene anche i terminali dell'impianto di climatizzazione a pannelli radianti.

Per quanto riguarda la copertura, si è optato per la realizzazione di una copertura verde, con un manto estensivo. Una copertura di questo genere aiuta a ridurre le escursioni termiche e ad isolare maggiormente gli ambienti dall'esterno.

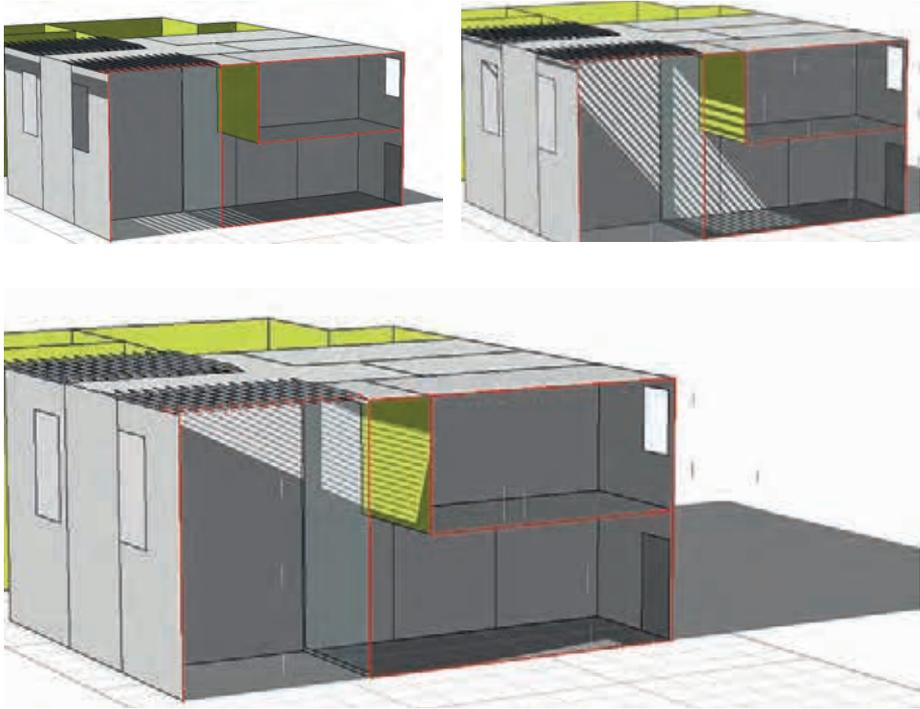
Comparando il valore di trasmittanza di questa soluzione con quello dello scenario precedente, si nota una notevole riduzione, passando infatti da una  $U=0,306$  ad una  $U=0,117$ . Infine, per questo terzo e ultimo scenario, sono stati scelti infissi ancora più performanti, con  $U_w= 1,50$  W/m<sup>2</sup>K. Valutati dunque i cambiamenti finali con Termus-G, si è proceduto all'applicazione dei nuovi pacchetti sul modello energetico in Ecotect, per valutarne i miglioramenti: un decremento del fabbisogno, mentre rimangono pressoché costanti i periodi di picco energetico.

*pagina a fronte*  
**andamento della luce in funzione della schermatura al variare delle stagioni, verificato durante le ore 13:00, rispettivamente il 21 giugno, il 21 marzo e il 21 dicembre**

## Schermature

Valutato l'impatto delle tre tipologie di involucro sul fabbisogno energetico dell'edificio, si è proceduto a considerare quanto inciderebbe, sulle tre diverse tipologie, l'utilizzo di un sistema di schermature per proteggere dal sole estivo le grandi aperture in facciata. Sono state prese in considerazione le parti vetrate orientate verso sud.

Le schermature da adottare, per oscurare le facciate trasparenti in questione, sono caratterizzate da lamelle orizzontali, inclinate in modo tale da permettere l'ingresso della luce durante le prime ed ultime ore del giorno, e ombreggiare la facciata in quelle centrali, più calde.



Verificato l'andamento della luce al variare delle stagioni, si è modellata la stecca di edifici in Ecotect, al fine di verificare un risparmio di circa il 7% sul fabbisogno energetico estivo per il raffrescamento.

Questo lavoro è partito dalla volontà di realizzare un'architettura sostenibile, cercando di considerare e analizzare le sue molteplici facce: utilizzo di materiali locali (promuovente la filiera corta e diminuente l'impatto ambientale della realizzazione); inserimento nel progetto di tecniche costruttive che rispecchino la cultura del luogo; valorizzazione delle proprietà fisiche dei materiali nel contesto climatico.

Il continuo raffronto tra la valutazione delle stratigrafie e il relativo riscontro sul modello energetico utilizzato per eseguire le simulazioni, ha portato alla redazione di tre proposte progettuali: da quello meno efficiente, cioè il primo, a quello energeticamente migliore, l'ultimo. La matrice sintetizzante tutte le valutazioni effettuate permette di scegliere in maniera oggettiva lo scenario migliore, in base ad un confronto diretto.

**Bibliografia**

- Benevolo L. 1994, *La città nella storia d'Europa*, Bari.
- Gallo P, Gianfrate V. 2010, *Valutazione energetica degli edifici in ambito mediterraneo*, Il PROGETTO SOSTENIBILE, pp. 52-57.
- Gallo P., Bologna R. 2017, *Riqualificazione urbana tra resilienza e sostenibilità*, ECO WEB TOWN, pp. 1-15.
- Matvejevic P. 1996 (ed. orig. 1987), *Mediterraneo. Un nuovo breviario*, Milano.
- Trombadore A., Gallo P., Ceccherini Nelli L. 2009, *Il Project Management applicato alla gestione dei progetti complessi di riqualificazione urbana*, in *CamPus Architettura Sostenibile Manuale Multimediale dell'Architettura Bioclimatica*, Acca Software.
- Trombadore A. 2015, *La declinazione smart nel contesto mediterraneo: 5 punti per l'Abitare-mediterraneo*, in *MEDITERRANEAN SMART CITIES Innovazione tecnologica ed ecoefficienza nella gestione dei processi di trasformazione urbana*, Altralinea Editore, Firenze, pp. 43-56.
- Trombadore A. 2015, *Mediterranean Smart Cities. Innovazione tecnologica ed ecoefficienza nella gestione dei processi di trasformazione urbana – Introduzione*, Altralinea Editore, Firenze.





---

## DIAGNOSI ENERGETICHE. TRE SCUOLE DEL COMUNE DI FIRENZE

---

Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato



sopra a  
sinistra  
indagine  
termografica  
relativa  
al piano  
terra, lato  
strada, della  
palestra San  
Niccolò a  
Firenze

sopra a  
destra  
giardino  
della scuola  
di Primo  
Grado G.  
Verdi

sotto  
facciata  
principale  
dell'istituto  
scolastico  
'Scuola  
Secondaria  
di primo  
Grado G.  
Carducci'

Il percorso di alta formazione proposto dall'Università di Firenze, nell'ambito del Master di II livello Abita, si configura come anello di congiunzione tra il sistema accademico e il mercato del lavoro che, sempre con maggiore incidenza, si proietta verso la ricerca di professionalità specialistiche, altamente qualificate e dotate di competenze trasversali nonché trasferibili; tali risorse devono essere in grado di rispondere, efficacemente e velocemente, sia alle mutevoli condizioni del mercato, che alla crescita economica e sostenibile del settore delle costruzioni. Negli ultimi anni, il mercato dell'energia, coerentemente agli indirizzi e alle politiche strategiche dell'UE, si è evoluto verso la promozione dell'efficienza energetica, quale driver fondamentale per aumentare la competitività del settore produttivo, attraverso una gestione intelligente e razionale dei servizi energetici, l'ottimizzazione dei processi produttivi (al fine di migliorare la qualità produttiva degli impianti), e la riduzione di sprechi e di emissioni di gas climalteranti. D'altra parte, tale esigenza è riconosciuta prioritaria anche nel settore delle costruzioni, coinvolgendo tutti gli attori della filiera.

Sulla base delle rapide trasformazioni che investono in modo sempre più tumultuoso il settore dell'energia, sia l'assenza di operatori qualificati con adeguate competenze nel settore dell'energia, che la complessità dei meccanismi per accedere a contributi, incentivi (e altre forme di finanziamento previste per le imprese e per le PP.AA.), costituiscono i principali ostacoli alla diffusione delle buone pratiche di efficienza energetica.

In Italia, l'unica figura professionale responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia fu introdotta, per la prima volta, dalla legge 10/91; tale figura, meglio identificata con il termine di 'Energy Manager', aveva il compito di promuovere il controllo dei consumi e la diffusione di buone pratiche di efficientamento energetico presso quei i soggetti, pubblici e privati, caratterizzati da consumi di grande entità.

Negli ultimi anni, a tale figura si è accostata quella di Esperto in gestione dell'energia (EGE), una nuova figura professionale interdisciplinare, che agisce nel contesto del nuovo mercato europeo dell'energia, interpretando al meglio i cambiamenti del settore energetico.

La figura dell'EGE, introdotta per la prima volta dal D. Lgs. 115/2008, pur mostrando del-

le affinità con il ruolo attribuito all'Energy Manager, si distingue da quest'ultimo sia per la capacità di coniugare conoscenze, capacità ed esperienze nel campo energetico ed ambientale, che per competenze gestionali, economico-finanziarie e di comunicazione, orientate più verso il mondo dei servizi energetici che verso quelle delle aziende.

Tali capacità possono essere sviluppate attraverso un percorso formativo adeguato e, soprattutto, mediante un'adeguata esperienza sul campo.<sup>1</sup>

Le figure dell'Energy Manager (ai sensi della Legge 10/91), e quella dell'Esperto in Gestione (ai sensi del D.Lgs. 115/08), non è detto che debbano necessariamente coincidere; si possono dunque verificare i seguenti casi:

1. un energy manager può essere al contempo un EGE. Questa condizione è da preferirsi alle altre poiché un energy manager dovrebbe poter soddisfare quanto richiesto dalla norma UNI CEI 11339, indipendentemente dal fatto che intenda ottenere la certificazione o meno. In alcuni casi, in particolare nelle grandi realtà aziendali, al fine di distribuire diverse responsabilità a più soggetti, è auspicabile che le due figure siano ricoperte da persone diverse;
2. un energy manager non può essere contemporaneamente un EGE. Un energy manager può essere nominato indipendentemente dal fatto che abbia o meno le caratteristiche previste dal D.Lgs. 115/08 e dalla norma UNI CEI 11339;
3. un EGE può non essere un energy manager, poiché i requisiti per la certificazione e l'accreditamento, previsti dalla norma UNI CEI 11339 del 2009 e posseduti dal soggetto EGE, non richiedono necessariamente una nomina per rivestire il ruolo di energy manager.

Di seguito si riportano i principali provvedimenti normativi collegati alla figura dell'esperto in gestione dell'energia (EGE):

- Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115: Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia, servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.
- Norma UNI CEI 11339: Gestione dell'energia. Esperti in gestione dell'energia. Requisiti generali per la qualificazione.
- Decreto MATTM 7 marzo 2012: Adozione dei criteri ambientali minimi da inserire nei bandi di gara della Pubblica Amministrazione per l'acquisto di servizi energetici per gli edifici - servizio di illuminazione e forza motrice-servizio di riscaldamento/raffrescamento.

<sup>1</sup> La norma UNI-CEI 11339:2009, "Gestione dell'energia. Esperti in gestione dell'energia. Requisiti generali per la qualificazione" stabilisce i requisiti e il percorso per ottenere la qualifica di Esperto in Gestione dell'Energia certificata da parte di organismi accreditati.

- Legge 14 gennaio 2013 n. 4: Disposizioni in materia di professioni non organizzate.
- Decreto legislativo 4 luglio 2014 n. 102: Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- Decreto interdirettoriale 12 maggio 2015: Approvazione degli schemi di certificazione e accreditamento per la conformità alle norme tecniche in materia di ESCO, esperti in gestione dell'energia e sistemi di gestione dell'energia, ai sensi dell'articolo 12, comma 1 del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 e relativo schema di certificazione per la conformità alla norma UNI CEI 11339.
- D.M. 11 gennaio 2017: Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e il gas per gli anni dal 2017 al 2020 e per l'approvazione delle nuove Linee Guida per la preparazione, l'esecuzione e la valutazione dei progetti di efficienza energetica.

A partire dall'analisi di questo scenario, il mercato dell'energia offre nuove opportunità di lavoro per tutti i professionisti che si occupano di efficienza energetica, nonché di gestione e controllo dei Sistemi Energetici per la produzione di beni e/o servizi.

Dal punto di vista normativo, l'articolo 8 del D.Lgs. 102/14 stabilisce che gli EGE sono tra i soggetti titolati a condurre diagnosi energetiche presso le grandi imprese, ed in particolare per le imprese cosiddette energivore; a partire dal 19 luglio 2016 però, gli EGE che intenderanno condurre tali diagnosi dovranno essere obbligatoriamente certificati dagli enti preposti.

Per venire incontro alla crescente domanda di figure qualificate con competenze così specifiche, nell'ultimo anno, la nuova proposta formativa del Master ABITA è stata ulteriormente integrata attraverso l'introduzione, all'interno del modulo dedicato alla Progettazione integrata di sistemi per edifici ad energia quasi zero, di un percorso di studio in ESPERTO IN GESTIONE DELL'ENERGIA-EGE. Tale percorso è in grado di fornire una preparazione propedeutica al sostenimento dell'esame di certificazione<sup>2</sup> della qualifica EGE, ai sensi della norma UNI CEI 11339:2009, per i settori civile e industriale.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> La certificazione della professione può essere rilasciata solo ed esclusivamente da un Ente o un Organismo che opera secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17024 "Requisiti generali per gli organismi che eseguono la certificazione delle persone". La certificazione EGE non è collegata alla partecipazione ad uno specifico corso di formazione, che è comunque fondamentale ai fini della qualificazione professionale e del proprio curriculum, ma viene conseguita superando un esame specifico che consente di essere inseriti negli albi degli EGE.

<sup>3</sup> La norma per la figura dell'EGE individua due profili professionali:  
 - civile, con competenze specifiche nei settori civile, terziario e della pubblica amministrazione (edilizia pubblica e privata, insediamenti urbanistici, infrastrutture, trasporti civili);  
 - industriale, con competenze finalizzate prevalentemente a soddisfare le esigenze di processo nei settori industriali e produttivi (sistemi produttivi, produzione e distribuzione di energia, acqua, gas, trasporti industriali).

Infatti, sulla base dell'esperienza lavorativa, l'EGE può essere certificato in accordo a due settori di competenza:

- Esperto Gestione Energia settore industriale: attività nei processi e nei sistemi produttivi, distribuzione e produzione di energia, acqua, gas, sistemi di trasporto (ove applicabili);
- Esperto Gestione Energia settore civile: attività relative ad impianti, sistemi di servizi, infrastrutture, logistica, e commercio nelle applicazioni civili, nell'edilizia pubblica e privata.

Le diagnosi energetiche, condotte nel settore civile, indagano sul comportamento energetico del sistema edificio-impianto, sulle caratteristiche prestazionali dell'involucro e degli impianti, e sono finalizzate sia alla riduzione dei consumi riconducibili a tutti i servizi energetici, che al conseguimento del comfort indoor. Nelle diagnosi energetiche, riferibili al settore industriale, le componenti edilizie ed impiantistiche possono avere una rilevanza inferiore rispetto all'analisi dei cicli produttivi, in un'ottica di efficientamento energetico dei processi industriali presso l'impresa oggetto di audit.

Una diagnosi energetica, per essere valida, deve essere condotta in conformità ai criteri minimi per gli audit energetici, riportati all'Allegato 2 del D.Lgs. 102/2014.<sup>4</sup>

A partire dal 19 luglio 2016 le diagnosi energetiche devono obbligatoriamente essere svolte da ESCo, EGE (Esperto in Gestione dell'Energia), auditor energetici certificati e Auditor energetici certificati secondo norma tecnica.

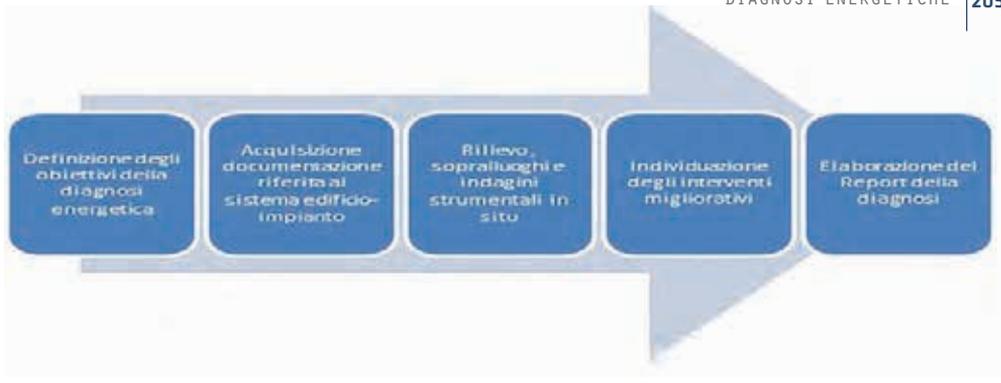
La Direttiva europea 2012/27/UE definisce la diagnosi energetica come 'una procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati'.

La diagnosi energetica permette di ottenere una conoscenza approfondita del comportamento e del consumo energetico del sistema edificio-impianto in esame, quindi determina la consapevolezza del progettista sullo 'stato energetico', al fine di individuare le modifiche più efficaci per migliorare tale comportamento. Rappresenta inoltre la condizione necessaria per realizzare un percorso di riduzione dei consumi di energia negli usi fi-

---

<sup>4</sup> I criteri minimi di una diagnosi energetica:

- a) dati sul consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili (per l'energia elettrica) e sui profili di carico;
- b) profilo di consumo energetico di edifici, di attività o impianti industriali, con il trasporto;
- c) analisi del costo del CLA, analisi dei costi anche a lungo termine;
- d) dati necessari per realizzare un quadro fedele della prestazione energetica globale e individuazione degli interventi per il miglioramento.



**Schema illustrativo del processo di diagnosi energetica suddiviso in fasi**

nali, attraverso l'individuazione delle attività a più bassa efficienza energetica, e la valutazione dei possibili margini di risparmio conseguibili.

Le fasi che si distinguono durante lo svolgimento di una diagnosi energetica sono sei:

1. rilievo ed analisi di dati relativi al sistema fabbricato-impianto in condizioni di esercizio (dati geometrici-dimensionali, termo-fisici dei componenti dell'involucro edilizio, prestazionali del sistema impiantistico, ecc.);
2. reperimento dei dati sui profili dei consumi di energia (analisi e valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio);
3. individuazione delle misure da adottare per il contenimento dei consumi;
4. valutazione dell'analisi costi/benefici;
5. fase di sviluppo della pianificazione economica degli interventi e pay back time;
6. attività di verifica e report della diagnosi.

La finalità dello studio di fattibilità è quello di valutare, sotto il profilo costi-benefici, i possibili interventi in analisi quantificando, economicamente, il risparmio ottenibile mediante i diversi interventi, sia in termini di risparmio gestionale, che di consumo di energia primaria. A partire dalla fase di definizione degli obiettivi della diagnosi energetica, i gruppi di lavoro degli allievi, coinvolti nell'attività di diagnosi, si sono posti i seguenti obiettivi:

- analizzare la configurazione attuale e lo stato dell'impianto, individuando possibili miglioramenti o criticità nella componentistica e nella configurazione attuale;
- definire il bilancio energetico del sistema fabbricato-impianto;
- definire un indicatore di congruità fra i consumi effettivi, ricavati dalle ultime fatture, e i consumi attesi, calcolati con opportuni fattori di aggiustamento a partire dalle condizioni standard;
- valutare, in termini energetici, le variazioni conseguenti all'adozione delle diverse soluzioni proposte;

- valutare, in termini economici di investimento iniziale e costi di gestione, le diverse soluzioni proposte, anche in riferimento ad incentivi fiscali disponibili;
- proporre ulteriori miglioramenti, di tipo gestionale, rispetto alla soluzione attuale.

Tali obiettivi sono raggiungibili attraverso la razionalizzazione dei flussi energetici, il recupero delle energie disperse, l'individuazione di tecnologie di risparmio delle risorse, l'ottimizzazione dei contratti di fornitura energetica, la gestione dei rischi tecnici ed economici, e infine il miglioramento delle modalità di conduzione e manutenzione degli impianti.

La fase di sopralluogo è stata preceduta da una fase di raccolta delle informazioni che sono state fornite direttamente dall'ufficio tecnico del Comune, durante un incontro preliminare in aula in presenza degli allievi. Tale fase preliminare, includente la raccolta dei consumi energetici reali (termici ed elettrici), riferiti agli storici delle bollette dell'ultimo triennio, è stata utile all'elaborazione del bilancio energetico; sulla base del quale sono state svolte le simulazioni miglioranti le prestazioni dell'edificio.

Il sopralluogo assume molteplici funzioni:

- confrontarsi direttamente con il committente, o con la struttura alla quale sono affidate la gestione e la manutenzione degli impianti, per chiedere integrazioni alla documentazione fornita in prima battuta;
- prendere visione dei componenti e dei sistemi edilizi individuando le aree di inefficienza sulle quali intervenire e verificare, in prima approssimazione, quali azioni di miglioramento possono essere attuate e se esistono eventuali vincoli tecnici;
- eseguire indagini strumentali utili a determinare le caratteristiche termofisiche dei componenti di involucro (superfici trasparenti, copertura, solai);
- rilevare le caratteristiche degli impianti di condizionamento (estivo ed invernale), di ventilazione, di illuminazione e la presenza di eventuali apparecchiature ad uso elettrico (computer, stampanti, fax, ecc);
- prendere nota delle modalità gestionali degli impianti, degli orari di funzionamento e dei profili di utenza.

Una volta raccolti questi dati, si è passati all'elaborazione, in forma di report sintetico individuante le pecche dei sistemi gestionali ed impiantistici, una lista dei possibili interventi di efficientamento prestazionale e infine, al cune indicazioni sull'opportunità di approfondire ulteriormente le diagnosi energetiche degli edifici in esame.

Per contribuire ad una maggiore sostenibilità dell'edificio, l'audit si deve prefiggere sia l'obiettivo di ridurre i consumi, che di contribuire al miglioramento globale dell'edificio, anche dal punto di vista della sostenibilità.

A livello metodologico, sarà necessario redigere ulteriori schede interventuali di retrofitting che concorreranno alla riduzione dei consumi, tali indicazioni potranno essere fornite tramite indicatori evidenzianti la valenza ambientale; in tal modo, si potrà intervenire sui criteri premianti, contenuti nella certificazione ambientale LEED.<sup>5</sup>

### **Strumenti per la diagnosi energetica**

Prima di procedere con la diagnosi energetica, è necessario che l'operatore concordi con il committente il grado di accuratezza, gli obiettivi della diagnosi e le esigenze dell'utente finale, poiché chiaramente, al variare di queste, varierebbe anche il livello di dettaglio nella conduzione della diagnosi.

Una diagnosi energetica può infatti essere condotta secondo diverse scale di dettaglio: leggera o di I livello, standard o di II livello e dettagliata o di III livello. A seconda della scala di approfondimento applicata, l'analisi energetica si può classificare in:

- approssimata (walkthrough audit), che rappresenta un approccio di base, da realizzare in tempi brevi ed economici;
- standard (standard audit), che viene utilizzata per valutazioni più approfondite, e con un approccio tecnico completo alla diagnosi;
- dettagliata (simulation audit), che prevede la simulazione dinamica del sistema nel suo complesso.

Durante l'esperienza condotta dagli allievi del Master ABITA, la fase di rilievo ha richiesto l'uso di una strumentazione idonea alla conduzione di una diagnosi di tipo standard, pertanto gli strumenti utilizzati sono stati:

- macchina fotografica digitale compatta;
- doppio metro rigido e/o fettuccia metrica;
- distanziometro digitale;
- termometro digitale;
- termo-flussimetro;
- termocamera ad infrarossi.

Le campagne di misura delle condizioni ambientali e delle caratteristiche termoigrometriche dei sistemi di involucro sono durate circa 10 giorni e hanno permesso di rilevare sia i valori di trasmittanza termica della pareti di chiusura esterne, che i profili di temperatura e di umidità relativa di alcuni locali interni agli edifici.

E' stata inoltre condotta un'indagine diffusa con termocamera a infrarossi al fine di:

---

<sup>5</sup> LEED – Leadership in Energy and Environmental Design, fornisce un insieme di standard di misura per valutare le costruzioni ambientalmente sostenibili.



Da sinistra verso destra, termometro ad infrarosso, misuratore CO<sub>2</sub>, termo-igrometro ad infrarossi e luxmetro



- rilevare le eventuali patologie presenti sulla muratura o sulle strutture (infiltrazioni, distacco di intonaco, mancanza di coibentazione, muffe, ecc...);
- individuare le zone di maggiore dispersione e la presenza di eventuali ponti termici;
- verificare la tenuta all'aria dell'involucro (opaco e trasparente);
- identificare le possibili cause di inefficienza degli impianti (errori in fase di esecuzione e di posa in opera, dispersioni, ecc).

A seguire, una descrizione sintetica circa gli strumenti utilizzati nella diagnosi:

1. Termometro ad infrarosso. La temperatura superficiale può essere rilevata in modo istantaneo con un termometro all'infrarosso poiché, tramite un sensore ottico sensibile alle radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda superiore a quella del visibile, è possibile misurare l'energia termica emessa per irraggiamento da un corpo. Lo strumento non sostituisce la macchina termografica, ma è in grado comunque di fornire indicazioni per i successivi livelli di approfondimento.
2. Igrometro. I valori dell'umidità possono essere misurati con un igrometro; gli strumenti attuali digitali consentono di ricavare il valore dell'umidità relativa e della temperatura, misurando anche il punto di rugiada.
3. Misuratore di CO<sub>2</sub>. Il rilevamento continuativo, effettuato dal misuratore di CO<sub>2</sub>, negli ambienti può fornire indicazioni sulla qualità di ventilazione degli stessi. Anche la presenza di persone in un locale può essere valutata indirettamente con questo strumento che, comunicando con il sistema di ventilazione meccanico, controlla la regolazione dei ricambi d'aria nei locali.
4. Luxmetro. Il luxmetro consente di misurare il livello di illuminamento, espresso in lux (lx). Nelle attività di energy audit, la misurazione del livello di illuminamento, anche se veloce, può dare valide indicazioni sul comfort luminoso e sull'efficienza del sistema di illuminazione.

*pagina a fronte*  
In senso orario da sinistra verso destra, sistema di monitoraggio dei consumi elettrici con datalogger, pinza amperometrica e analizzatore della qualità della rete, dispositivo di monitoraggio dei consumi termici, endoscopio



5. Sistemi di monitoraggio dei consumi elettrici. Servono per monitorare, con continuità, il consumo elettrico di macchinari, di dispositivi o di interi reparti o zone (ad esempio, il monitoraggio dei consumi di illuminazione entro uno specifico comparto). Gli strumenti sono dotati di datalogger, grazie ai quali è possibile lasciare in opera i misuratori anche per lunghi periodi di tempo, memorizzando i dati misurati che verranno poi elaborati.
6. Multimetri per il rilievo di grandezze elettriche. Si tratta di strumentazioni che consentono di effettuare una serie di misurazioni in contemporanea e su diverse grandezze elettriche (tensioni, correnti, sfasamenti, potenze attive e reattive, fattori di potenza, ecc.); tale strumentazione, dotata di datalogger e connessione al PC, effettua il rilievo dei dati di interesse, anche per lunghi periodi di tempo. I multimetri necessitano di una misura con pinza amperometrica e di una tensione.
7. Sistemi di monitoraggio dei consumi termici. Necessari per rilevare, anche nel medio e lungo periodo, i consumi di energia termica dovuti ad ambienti o a processi e macchinari. Possono essere di più tipi, a seconda del fluido termovettore impiegato. Di questi strumenti ne esistono due versioni principali: a tempo di transito e ad ultrasuoni.

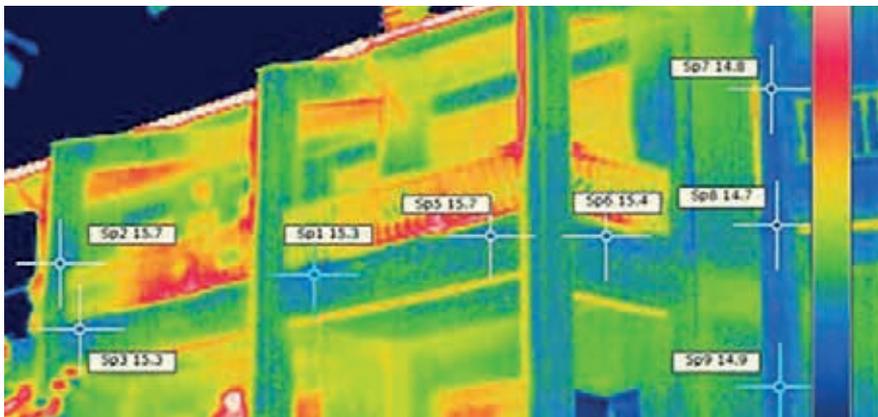
### **Strumenti per la valutazione delle prestazioni dell'involucro**

La conoscenza delle caratteristiche termofisiche dell'involucro è necessaria per stabilire gli interventi da attuare, finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche. I principa-



sopra  
elaborazione  
grafica eseguita  
tramite indagine  
termografica

sotto  
misuratore  
dello spessore  
del vetro,  
termocamera  
ad infrarossi e  
termoflussimetro



li strumenti che vengono utilizzati di analisi sono: l'endoscopio, il misuratore di spessore del vetro, il termoflussimetro e la termografia.

1. Endoscopio. È costituito da un cavo flessibile o da una sonda in fibre ottiche la cui lunghezza varia, a seconda delle applicazioni, da un metro a più metri. Questo apparecchio viene generalmente usato per raggiungere punti difficili da ispezionare come canaline, cavità e controsoffitti; consente, inoltre, di indagare sulla stratigrafia di una parete.
2. Misuratore dello spessore del vetro. Tale strumento è adatto per misurare lo spessore di vetri doppi o tripli, rilevare la presenza di vetri basso emissivi o con pellicole, ed effettuare misure comparative.
3. Termoflussimetro. È lo strumento che permette di misurare in maniera 'quantitativa', l'isolamento termico di una parete verticale o di una copertura; serve inoltre a valutare il rendimento energetico di un edificio. La strumentazione, conforme alla normativa

ISO 9869, si compone di uno strumento di misura data-logger, di una piastra flussimetrica e di 4 sonde a contatto per la misura delle temperature delle pareti interne ed esterne. Le misure vengono poi scaricate su PC ed elaborate tramite un apposito software che effettua il calcolo diretto del coefficiente K e dei parametri legati all'isolamento termico, tale calcolo viene effettuato tramite il metodo delle medie mobili o tramite il metodo detto 'black box'. La prova termoflussimetrica, effettuata dopo un'ispezione termografica, è la prova più affidabile per valutare il reale isolamento termico di una parete.

4. La termografia consente di valutare le temperature superficiali delle pareti; consente sia di ottenere un'immagine termografica, evidenziante le caratteristiche di temperatura relative a più punti vicini, che di individuare con facilità i punti di perdita di energia. Tramite questa indagine è possibile anche effettuare analisi sui consumi di riscaldamento.

La termocamera viene utilizzata per i seguenti scopi:

- Individuazione dei ponti termici;
- verifica della struttura, coibentazione della struttura e degli impianti;
- discontinuità del materiale isolante;
- infissi con basso isolamento e ridotte prestazioni termiche;
- infiltrazioni d'aria;
- perdite di acqua nell'involucro;
- verifica di distacchi o di fessurazioni in intonaci e sulle strutture murarie;
- verifica degli impianti elettrici e termici;
- verifica dei pannelli fotovoltaici e solari termici.

La termocamera è uno strumento molto utile per le diagnosi energetiche degli edifici; è particolarmente efficace se abbinata al termoflussimetro, che fornisce valori più precisi ma con tempi più lunghi rispetto alla termocamera, che è invece istantanea.

### **Blower door test**

La verifica completa della tenuta dell'involucro può essere fatta attraverso il blower door test, una prova che mette in pressione meccanicamente, attraverso un ventilatore, l'ambiente interno.

Il blower test è necessario per collaudare l'involucro, che deve rimanere ermetico (senza alcuna presenza di infiltrazioni di aria); tale strumento è idoneo alla verifica della permeabilità all'aria, secondo la norma tecnica UNI EN 13829 "Prestazione termica degli edifici – Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici – Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore", e permette di individuare sia le dispersioni energetiche dovute alle infiltrazioni, che le cause delle correnti d'aria all'interno dei locali. Qualora il test venga eseguito duran-

➔  
fase di  
monitoraggio  
con il Blower  
door test



te la fase costruttiva dell'edificio, gli eventuali punti deboli di questo strato possono essere risolti senza problemi ed in maniera più efficace. Il test completo, si articola in tre fasi:

1. durante la prima fase viene creata e mantenuta una differenza di pressione tra l'interno e l'esterno (costantemente pari a 50 Pa); viene dunque ispezionata l'intera superficie dell'involucro edilizio, alla ricerca dei punti non ermetici che causano le maggiori perdite di carico termico per infiltrazione;
2. nella seconda fase viene generata un depressione decrescente (da circa 70 Pa, si prosegue a passi di 5 Pa, sino al raggiungimento del valore finale di 25 Pa). Durante ogni passo vengono registrati i volumi d'aria che si perdono attraverso i punti di permeabilità e viene calcolato l'indice di quantità d'aria penetrata in un'ora ( $n_{50}$ );
3. infine, durante la terza fase viene creata una sovrappressione e viene ripetuta la sequenza della fase precedente. Questo per valutare anche le dispersioni dovute alle diverse guarnizioni. Il risultato finale del test rappresenta il numero di ricambi orari del volume di aria interna che si ha attraverso le fessure dell'involucro, la cui sommatoria definisce la perdita totale.

### **Modellazione energetica del sistema edificio-impianto**

Nella valutazione delle prestazioni energetiche, occorre considerare gli effetti che ciascun intervento migliorativo può determinare, sull'intero sistema, qualora venga realizzato contestualmente ad altri interventi. Il miglioramento delle prestazioni termiche do-

vute all'isolamento dell'involucro, per esempio, comporta una riduzione del carico termico dell'impianto di climatizzazione invernale, mentre il miglioramento dell'efficienza di un impianto di illuminazione comporta una riduzione dei carichi termici estivi e quindi del consumo energetico estivo per climatizzazione. Per stimare l'efficacia di un intervento, in termini di miglioramento della prestazione globale di un edificio, si ricorre all'uso di strumenti di simulazione energetica in grado di prefigurare, sulla base dell'analisi di un modello rappresentativo (più o meno complesso del sistema edificio-impianto, quanto più aderente al caso reale), diversi scenari di efficientamento energetico del fabbricato e dell'impianto, determinati da uno o più interventi migliorativi che, combinati tra loro, consentono di:

- individuare una scala di priorità degli interventi per la riqualificazione energetica e il miglioramento del comfort indoor degli utenti;
- suggerire azioni per una corretta gestione dell'energia, attraverso operazioni volte alla razionalizzazione dei flussi energetici tra sistema edificio-impianto ed ambiente esterno.

Il livello di approfondimento di un audit energetico determina il livello di dettaglio dei modelli di simulazione e dei relativi strumenti software, utili a caratterizzare, sotto il profilo energetico, il comportamento del sistema edificio-impianto.

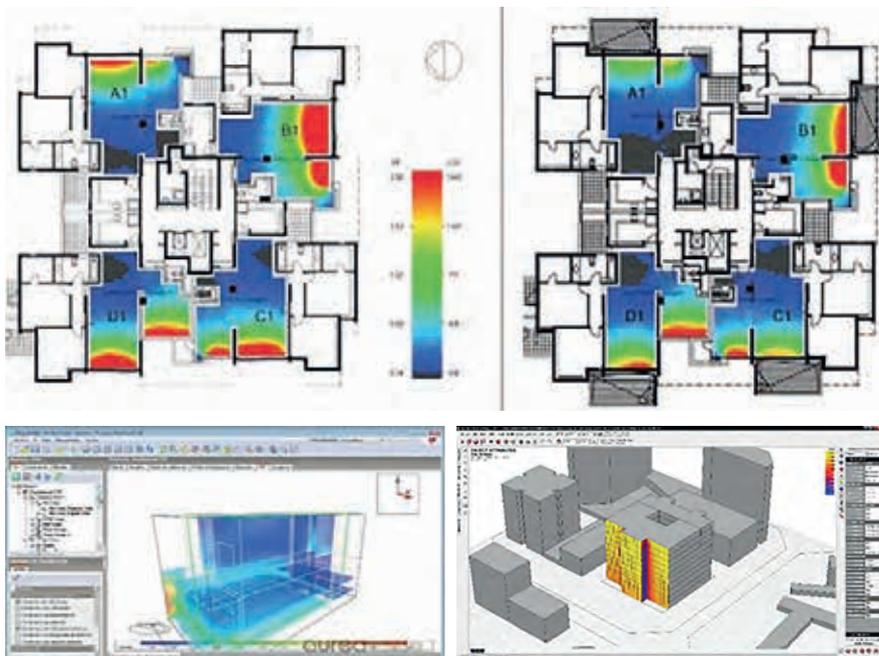
La mole di dati, raccolti nelle fasi precedenti attraverso l'attività del professionista, è destinata alla simulazione del comportamento termodinamico dell'edificio oggetto della diagnosi, seguendo un approccio top-down (così come descritto dalle norme tecniche della serie UNI TS 11300 e nelle norme ad esse correlate).

Tale metodologia fa riferimento all'uso, da parte del professionista, di programmi di simulazione commerciali, certificati dal CTI per la progettazione termica degli edifici, che si basano sul un calcolo in regime semi-stazionario. Nella prassi progettuale corrente, infatti, ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria, relativo alla climatizzazione estiva ed invernale degli edifici, si utilizzano metodi di calcolo standardizzati su base stagionale o mensile (così come indicato nella norma europea EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling").

Una volta attribuite al modello le caratteristiche geometriche e fisiche del fabbricato, dell'involucro, degli impianti e dai dati relativi al clima, si giunge (utilizzando un modello matematico), al consumo teorico di energia primaria per i diversi usi energetici. Attraverso il bilancio energetico, applicato al sistema edificio-impianto, e a un'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito, si arriva a determinare quanta e che tipo di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo, e come essa è stata prodotta, trasformata e consumata.

Una volta attribuite al modello le caratteristiche geometriche e fisiche del fabbricato, dell'in-

➔  
fase di  
monitoraggio  
con il Blower  
door test



volucro, degli impianti e dai dati relativi al clima, si giunge (utilizzando un modello matematico), al consumo teorico di energia primaria per i diversi usi energetici. Attraverso il bilancio energetico, applicato al sistema edificio-impianto, e a un'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito, si arriva a determinare quanta e che tipo di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo, e come essa è stata prodotta, trasformata e consumata.

### **Validazione del modello di simulazione e analisi economica degli interventi**

Il processo di validazione del modello di simulazione avviene attraverso un approccio di tipo bottom-up che, a partire dall'analisi degli scostamenti tra dati di consumi reali e dati simulati, permetta di verificare la correttezza dei dati di input e di eseguire un eventuale affinamento dei parametri introdotti nel modello, in modo tale da rendere i due set di dati congruenti tra loro.

Ai fini delle analisi successive, il modello di simulazione risulta validato quando simula correttamente il comportamento dell'edificio con scostamenti, tra dati teorici e reali, al di sotto del 15% per tutte le annate esaminate.

Qualora tale condizione non fosse verificata<sup>6</sup> per più annate, si rende necessario un riesame dei dati di input e delle ipotesi adottate a monte della simulazione (periodi di spegnimento/attenuazione degli impianti, stratigrafie dei componenti opachi, periodi di occupazione parziale dell'immobile, eventuali anomalie nell'uso dell'immobile connesse alle specifiche annate anomale).

In assenza di errori e incongruenze nel modello, si procede con l'uso di un coefficiente correttivo da applicare ai risultati del modello.

Al termine del processo sopra descritto, ottenuti i fabbisogni energetici del sistema edificio-impianto, è possibile procedere con l'individuazione degli interventi migliorativi per il sistema, conducendo un'analisi sotto il profilo tecnico ed economico.

Sulla base dei risultati e delle informazioni raccolte, per ciascun intervento individuato, occorre valutare il risparmio che ne consegue in termini di risparmio sia energetico, che economico. Il passaggio successivo consiste in una vera e propria economica.

Per ciascuno degli scenari individuati si determineranno sia la convenienza, e il relativo tempo di ritorno, sulla base del costo dell'intervento che il committente dovrà sostenere, che il risparmio economico, ottenuto a seguito della riduzione dei consumi energetici; insieme al cliente, sarà scelto lo scenario più conveniente.

Contestualmente, si potranno comunicare al committente specifiche forme di finanziamento, o incentivi fiscali a cui accedere, per eseguire gli interventi di efficientamento energetico.

### **L'esperienza professionalizzante del master ABITA**

Il percorso formativo, formulato nell'ambito della XIV edizione del Master ABITA, è stato strutturato come un modulo specifico professionalizzante, rivolto a laureati in ingegneria ed architettura che operano nel settore civile.

Il corso ha lo scopo di fornire agli iscritti le conoscenze e gli strumenti necessari per condurre un lavoro di diagnosi energetica su una serie di casi studio, in accordo con quanto disposto dalle normative in tema di efficienza energetica nel settore edilizio.

L'esperienza didattica, che ha visto gli studenti del Master ABITA (dell'a.a. 2016/17), impegnati in un ciclo programmato di lezioni frontali, dedicate all'inquadramento delle tematiche sull'efficienza energetica del settore civile ed industriale (a loro volta all'interno di più ampi contesti, quali quello del mercato dell'energia, e quello della normativa in materia di

---

<sup>6</sup> Qualora i risultati relativi ad un'unica annata risultino fuori dal range di accettabilità, sarà compito del professionista valutare se l'anomalia sia accettabile o si renda comunque necessario adottare il coefficiente correttivo. Un criterio ragionevole consistere nell'eseguire un confronto tra le medie calcolate sull'insieme delle annate analizzate. Se lo scostamento tra i due valori medi, reale e calcolato, è inferiore al 10% il modello può essere considerato corretto, altrimenti si procede all'applicazione del coefficiente correttivo.

gestione dell'energia), si è conclusa con un'esperienza diretta sul campo: la redazione di tre diagnosi energetiche, realizzate su edifici pubblici del Comune di Firenze.

Tali edifici sono stati: due scuole secondarie di primo grado, la scuola Giosuè Carducci e la scuola Giuseppe Verdi, e una piccola palestra nel quartiere di San Niccolò.

L'attività è stata coordinata dal Centro ABITA, in collaborazione con il Comune di Firenze, che ha fornito tutta la documentazione tecnica necessaria all'avvio delle attività programmate all'interno del corso.

All'interno del percorso formativo del Master, è stato proposto agli allievi l'uso del codice di calcolo e di simulazione energetica Energy Plus, con interfaccia grafica Design Builder, che consente di facilitare al massimo il processo di modellazione e di inserimento dei dati e di comparare i consumi energetici degli edifici, i parametri di comfort abitativo, i livelli di illuminazione naturale ed artificiale degli ambienti e le prestazioni di differenti materiali e configurazioni impiantistiche.

Nelle pagine che seguono, si illustrano i risultati dei lavori degli iscritti che hanno svolto le diagnosi energetiche sui tre edifici sopracitati, adottando la metodologia descritta secondo i criteri illustrati nella norma tecnica UNI CEI EN 16247 parte 4. Le diagnosi energetiche sono state seguite durante i sopralluoghi, le fasi di monitoraggio e durante la loro stesura dai docenti: Arch. Lucia Ceccherini Nelli, Ing. Marco Prosperi, Ing. Alessandra Donato, Arch. Fabio Sciurpi, Arch. Leone Pierangioli, in collaborazione con il Geom. Luigi Di Guida del Comune di Firenze.

## Bibliografia

- Butera F. M. 1995, *Architettura e ambiente*, Etaslibri, Milano.
- Butera F. M. 2004, *Dalla Caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Cannaviello M., Violano A. 2005, *La certificazione energetica degli edifici*, Franco Angeli, Milano.
- Chiesa G., Dall'O' 1996, *Risparmio energetico in edilizia, criteri e norme*, Masson Milano.
- Dall'O' G. 2000, a cura di *Gli impiantiniell' arhitettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- Dall'O' G. 2003, a cura di *Gli impiantiniell' arhitettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- Dall'O' G. Galante A. 2004, "Building Energy Labelling, meglio passare ai fatti", in *Modulo* n. 304, BE-MA Editrice, Milano.
- Dall'O' G., Galante A. 2005, *Procedure semplificate di controllo e verifica della qualità energetica degli edifici da parte degli enti pubblici*, in Sergio Rinaldi a cura di, *La qualità nel processo di attuazione dell'organismo edilizio*, Collana Strumenti e metodi per la gestione della qualità del costruito, Alinea, Firenze.
- Dall' O' G. 2011, *Green Energy Audit. Manuale operativo per la diagnosi energetica e ambientale degli edifici*, Edizioni Ambiente, Milano.
- ENEA 2013, *Rapporto Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici*.
- Fassi A., Maina L 2006, *L'isolamento ecoefficiente, guida all'uso dei materiali naturali*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Mammi S. 2005, *I materiali isolanti*, Ed. TEP, Milano.
- Silvestrini G., Gamberale M. 2004, *Eolico, paesaggio e ambiente*, Mauzzio Editore, Padova.
- Szokolay S. V. 1979, *Environmental Science Handbook*, The Construction Press, London.
- Mari M., Paganin 2002, *Il progetto e la certificazione*, Il sole 24 Ore Pirola Ed., Milano.
- Mirandola R, Tuccoli M. Vaglini S., De Risi P.,1992, *Sistemi Qualità*,II Ed. ETS, Pisa.
- Van Dijk D., Spiekman M. 2004, *Energy Performance of Buildings Outline for Harmonised ED procedures – Final Report*, TNO Building and Construction Reserch, The Netherlands.





sopra a  
sinistra  
corridoio  
interno alla  
scuola

sopra a  
destra  
scalinata  
d'ingresso  
della scuola

sotto  
facciata  
principale  
dell'istituto  
scolastico

Estratto da:  
relazione  
tecnica di  
sintesi di V.  
Castellana, F.  
De Cristofaro,  
C. Ferrante,  
I. Meffe, A.  
Menin, L. G.  
Niglia, M. G.  
Perrini, M.  
Previtati

**Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato**

La maggior parte degli edifici scolastici costruiti prima del 1976, anno in cui è entrata in vigore la prima legge sul contenimento del consumo energetico degli edifici, ha pareti e finestre che disperdono verso l'esterno gran parte dell'energia fornita per riscaldare aule, uffici e ambienti annessi. Se a questo aggiungiamo i sistemi di illuminazione e gli impianti termici che sono poco efficienti, possiamo affermare che oltre il 50% dell'energia che usiamo per riscaldare gli edifici scolastici può essere risparmiata. A testimonianza di ciò, è stata scelta una scuola di Firenze (Scuola Secondaria di I grado G. Carducci), e ne è stata redatta la diagnosi energetica.

Partendo dallo stato attuale, tramite raccolta dati sui consumi effettivi e sui costi energetici legati al normale utilizzo, sono stati condotti sopralluoghi e rilievi presso l'edificio in questione e, successivamente, sono state proposte particolari soluzioni di interesse per il miglioramento energetico. Dall'analisi dei dati emerge in che modo l'energia viene utilizzata, quali possano essere le cause degli eventuali sprechi e quali potrebbero essere gli interventi migliorativi. Alla base degli interventi migliorativi è stata fatta una preventiva valutazione di fattibilità tecnico-economica al fine di valutare, sotto il profilo costi-benefici, i possibili interventi, quantificati in termini di energia primaria.

L'obiettivo non è solo quello del contenimento della spesa, ma anche il miglioramento delle condizioni di benessere degli alunni, oltre che la crescita di consapevolezza sui temi ambientali delle giovani generazioni.

L'audit realizzato utilizza un modello energetico conforme alla normativa in vigore, la cui validazione viene eseguita tramite opportuni fattori di aggiustamento: dati climatici reali e reale utilizzo del fabbricato. La relazione relativa all'audit si compone di una parte riassuntiva dei risultati e delle analisi effettuate, di calcoli e di valutazioni al dettaglio.

### **Stato di fatto**

La scelta dell'intervento prende in considerazione la zona climatica di appartenenza dell'edificio, assegnata con Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993 e



sopra a sinistra  
palestra della  
scuola

a destra  
esempio di  
bugnato e  
finestra in  
facciata



pagina a fronte  
sopra a sinistra  
pianta  
piano terra  
dell'edificio,  
stato di  
fatto delle  
apparechiature  
elettriche e  
termiche

sopra a destra  
Lim, proiettore  
della scuola e  
illuminazione  
artificiale a neon

sotto  
terminali di  
erogazione del  
calore, in ghisa,  
quadro elettrico  
generale con  
rifasatore e  
centrale termica  
in copertura

successivi aggiornamenti fino al 31 ottobre 2009. L'edificio in questione risulta appartenere alla zona climatica D.

La struttura, realizzata nella seconda metà degli anni Ottanta, si trova in Viale A. Gramsci e si estende per una superficie totale di circa 1550 mq, organizzati in quattro livelli fuori terra; si aggiungono un livello interrato che ospita locali adibiti a deposito e il livello copertura, che ospita la centrale termica e viene spesso sfruttato come palestra all'aperto.

Il fronte principale presenta una superficie decorata con bugnature in corrispondenza del primo livello; i piani superiori sono caratterizzati da superficie intonacata e, al fine di movimentare il prospetto, è stato realizzato un insieme di architravi a rilievo per ogni finestra. Non è stato possibile avere informazioni circa le componenti opache dell'involucro, bensì è stato possibile ottenere le prestazioni certificate, fornite dal produttore, delle componenti trasparenti: sostituite nel 2014 quelle su fronte strada, mentre nella seconda metà del 2016 le restanti. Si tratta di elementi con telaio in legno di pino lamellare e camera a doppio vetro. La struttura ospita principalmente aule didattiche e laboratori musicali ed artistici, mentre gli uffici sono decentrati in un'altra struttura, trattandosi di un Istituto Comprensivo. E' importante specificare, ai fini dell'analisi dei consumi, l'orario di svolgimento delle lezioni che va, dal lunedì al venerdì, dalle ore 8.00 alle ore 14.00. Il piano tipo è organizzato come nella pianta riportata in basso a destra, dove sono indicate anche le principali utenze elettriche.

Sono stati individuati, in particolare: lampade al neon e alogene, postazioni PC, Lim e proiettori, distributori bevande e snack, boiler per acqua calda sanitaria, asciugamani elettrici ad aria etc. e, per ognuno di essi, sono state indicate le potenze espresse in watt.



In corrispondenza dell'ingresso principale, a piano terra, è presente il quadro elettrico generale con rifasatore, di cui, in basso a sinistra, è stata allegata fotografia.

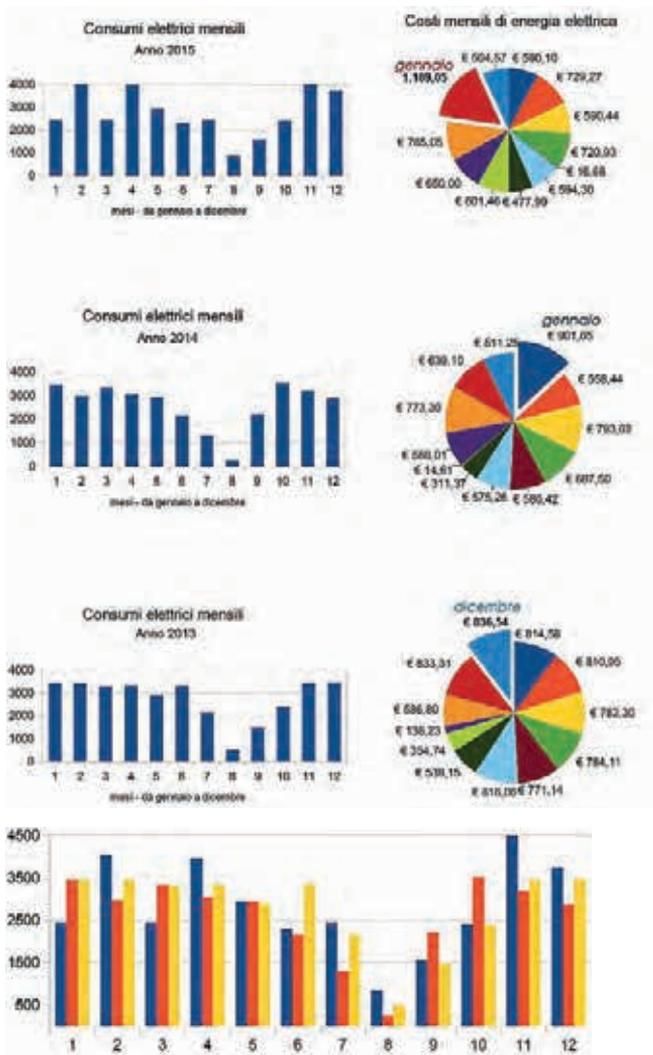
La documentazione analizzata rivela l'intenzione, da parte dell'amministrazione, di sostituire il vecchio e tradizionale generatore di calore con uno a condensazione e, quindi, più efficiente. La certificazione energetica, datata luglio 2012, rilevava consumi molto elevati e proponeva, come intervento migliorativo, la sostituzione del generatore di calore tradizionale con uno a condensazione.

La centrale termica è installata nel livello copertura. In assenza di dati certi e verificabili, e considerando il periodo di costruzione della struttura, si ipotizza un sistema di distribuzione a montanti verticali. E' possibile, invece, definire con certezza la tipologia dei terminali di emissione: si tratta di radiatori in ghisa con numero di colonne variabile a seconda dell'ambiente in cui sono installati, posizionati in corrispondenza delle pareti esterne e al di sotto



sopra  
Consumi elettrici mensili del triennio 2013-15

sotto  
grafico sul confronto dei consumi elettrici mensili del triennio 2013-15



pagina a fronte  
In senso orario da sinistra verso destra, sonda esterna per il rilevamento della temperatura esterna; esempio di valvola termostatica e ripartitore del calore

delle componenti finestrate (immagine in alto al centro). Gli elementi di termoregolazione sono stati riscontrati solo nei corridoi e non nelle singole aule. La centrale termica è stata individuata nel piano seminterrato, in apposito ambiente. Sono stati determinati e documentati i consumi elettrici dell'edificio di ogni piano e poi determinato il totale, ammontante a circa 38.000 KW.



## Interventi

La scelta degli interventi è in funzione dello stato di conservazione dell'edificio, del potenziale risparmio conseguibile e soprattutto della disponibilità economica e della capacità di reperire fondi. Alla luce dello studio dello stato di fatto nel quale si trova la scuola G. Carducci, a livello generico, sono stati proposti interventi in due diversi ambiti: componenti tecnologiche e componenti impiantistiche. Dal punto di vista impiantistico, le azioni eseguite nell'ambito del sopralluogo sono state le seguenti:

- Rilevamento del tipo e della posizione prevalente dei sistemi di emissione e del tipo di regolazione per singolo volume riscaldato, per zona e per l'intero immobile (presenza di valvole termostatiche, regolazione climatica per zona, ecc.);
- verifica del tipo di distribuzione per il riscaldamento (verticale, orizzontale), e presenza o meno di coibentazione sulle tubazioni e relativo stato;
- verifica delle caratteristiche e dei dati di targa del generatore di calore, nonché del suo stato di conservazione.
- verifica del regime di funzionamento continuo, intermittente o attenuato degli impianti, con individuazione di quello continuo durante l'orario di attività didattica.

➔  
sopra a sinistra  
Grafico sul  
risparmio  
energetico  
dovuto alla  
presenza di  
sensori di  
presenza nei  
bagni



sotto a destra  
Esempio di  
sensore di  
presenza. In  
basso, timer  
automatico on/  
off per punti  
luce e postazioni  
pc/Lim



A seguito del primo rilevamento, si è evinto che la totalità dei terminali di emissione presenti all'interno dell'edificio è composta da radiatori in ghisa posti su parete esterna nelle aule e su parete divisoria nei corridoi, mentre sono stati rilevati termostati nei soli corridoi. Per quanto invece si possa desumere dal secondo rilevamento, in mancanza di dati certi, si presume che l'immobile, trattandosi di un edificio di costruzione antecedente agli anni '90, disponga di un impianto a distribuzione verticale.

Inserendo le valvole termostatiche, si consente di mantenere la temperatura ambiente ad un valore fissato, evitando indesiderati incrementi termici.

La temperatura, regolata nei singoli ambienti, compensa gli apporti gratuiti e le diverse esposizioni. Trattandosi di un edificio pubblico, si consiglia l'installazione di un limitatore di corsa sulla manopola, per impedirne la libera manomissione.

Il risparmio che si consegue può arrivare fino al 15%.

Per quanto concerne i costi, una valvola termostatica completa costa circa 60,00 euro, manodopera compresa. Dal momento che nell'edificio in esame sono presenti settanta radiatori, la spesa iniziale ammonterebbe a circa 4000 euro; raffrontando questa spesa con il costo del combustibile, si ottiene un risparmio annuo di circa 1200 euro.

Si è inoltre ipotizzato l'ammortamento totale della spesa utile all'installazione delle valvole termostatica di circa tre anni e mezzo dalla data di intervento (tre cicli invernali di messa in funzione dell'impianto di riscaldamento).

Altro intervento consiste nell'installare un sistema di termoregolazione della centrale termica, attraverso una sonda esterna di temperatura. La presenza di tale sonda, installata sulla parete nord dell'edificio, garantisce l'accensione del generatore di calore solo se la temperatura esterna scende al di sotto di valori prefissati.

Ad esempio, se la temperatura esterna è pari a 16 °C, la sonda fa in modo che la caldaia non parta, realizzando così un notevole risparmio di combustibile, non permettendo all'impianto di funzionare nelle giornate invernali più calde.

L'illuminazione incide particolarmente sul consumo energetico della scuola. Si è rilevato, durante sopralluogo, che l'intero gruppo di apparecchi illuminanti è costituito da plafoniere con tubi a neon di varie dimensioni, il cui utilizzo maggiore è compreso tra le 8.00 del mattino e le 14.00. Si propongono alcuni interventi migliorativi al fine di diminuire il consumo elettrico: sostituzione con punti luce a LED, inserimento di sensori di presenza nei bagni, timer automatico on/off per punti luce e postazioni pc/Lim. Per ridurre il fabbisogno di illuminazione artificiale delle zone interne all'edificio scolastico, è possibile includere l'opzione di accensione automatica o, al bisogno, il manuale delle luci, con la possibilità di regolare il flusso luminoso.

Con l'inserimento di un timer all'interno del quadro elettrico, sarebbe altresì possibile anche il controllo dello spegnimento automatico dell'alimentazione delle postazioni pc e LIM. E' inoltre raccomandabile inserire sensori di presenza all'interno dei bagni, per eliminare il motivo più banale di consumo, come la distrazione perché ci si dimentica di spegnere la luce.

Con questi interventi, più il controllo è automatico e sofisticato e più sarà possibile ridurre i costi di illuminazione dell'immobile. Per quanto riguarda i punti luce, l'intervento prevede

la sostituzione dell'intera plafoniera con una a LED. Allo stato attuale gli apparecchi illuminanti sono costituiti principalmente da plafoniere a tubi a neon di 60, 120 e 150 cm. Il costo complessivo dell'intervento sarebbe di circa 7000 euro, mentre il risparmio annuo arriverebbe a circa 1300 euro, con un tempo di ammortizzamento della spesa pari a sei anni.

## **Bibliografia**

Alcamo G., Sala M. 2007, *Illuminazione naturale e simulazioni energetiche*, Alinea Editrice, Firenze

De Santoli L., Mancini F. 2005, *Procedura Semplificata per la Valutazione dei Fabbisogni Energetici dei Trattamenti dell'Aria*, Università La Sapienza, Roma.

Gallo P. 2013, *Sistemi costruttivi e prodotti: una risposta alle normative per l'efficienza energetica*, Il Progetto Sostenibile, pp. 6-13

Pepe D., Rossetti M. 2014, *La riqualificazione energetico-ambientale degli edifici scolastici*, Maggiori Editore, Firenze





sopra  
aero-  
fotogrammetria  
zona  
San Niccolò

sotto  
Prospetto  
Nord Est della  
palestra, lato

strada  
Estratto da:  
relazione  
tecnica di  
sintesi di L.  
Fantacci, A.  
Maggini, C.  
Ruggieri, F.  
Visone.

Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato

L'immobile oggetto di audit energetico è una palestra sita in zona 'San Niccolò', di proprietà del Comune di Firenze e ritenuto, per le sue finiture, di pregio storico. Tale immobile, riquilibrato una sola volta negli anni '90, è costituito da due piani fuori terra, due unità immobiliari di cui una adibita ad ufficio comunale e l'altra a palestra, su un unico piano a doppia altezza.

Il presente audit ha lo scopo di: rilevare i consumi energetici dell'immobile, mediante analisi di bollette e consuntivi spese, per ricavarne un profilo di consumo energetico (mq/anno); individuare le zone di dissipazione termica dell'involucro; individuare le inefficienze di impianti e sistemi in uso; individuare le opportunità di risparmio energetico e ottimizzazione energetica sia dell'involucro che dell'impianto; quantificare tale risparmio sotto il profilo costi-benefici.

Il Comune di Firenze, conformemente al D.lgs. 102/2014, recepimento della Direttiva Europea 2012/27/UE, in qualità di Pubblica Amministrazione ha l'obbligo di svolgere un ruolo esemplare nel contenere e limitare i consumi e gli sprechi energetici, attraverso interventi di riqualificazione energetica.

Per ottemperare a tali obblighi, l'investimento economico a disposizione è esiguo, pertanto la richiesta è quella di ricercare vie poco onerose, accentuando le buone pratiche e comportamenti virtuosi. Verranno quindi indicati i comportamenti che i fruitori dovranno tenere per una corretta gestione dell'immobile.

Come nel predente lavoro, si è proceduto prima ad analizzare il sito da un punto di vista climatico, dopo si è proceduto con una puntuale analisi dell'immobile sotto il punto di vista tecnologico ed impiantistico, per poi passare a proporre degli scenari di risparmio energetico, rispettando le limitazioni del budget imposto.

## Stato di fatto

L'immobile in questione, secondo il D.P.R 412 del 26 agosto 1993, ricade in zona climatica D e ad essa corrisponde un valore in gradi giorno compreso tra 1401 e 2100.

➔  
Termus G,  
dati climatici  
del comune  
di Firenze e  
valori delle  
temperature  
medie mensili

### TIPOLOGIA CALCOLO

Calcolo secondo decreti attuativi Legge 90/2013

### COMUNE

COMUNE: BAGNO A RIPOLI CAP: 50012  
 Provincia: FIRENZE Sigla: FI  
 Regione: TOSCANA  
 Dati geografici: Latitudine: 43°45'13" Longitudine: 11°19'12" Altitudine: 75 m



---

#### DATI INVERNALI DI PROGETTO

**Zona Climatica: D**

Temperatura esterna [C°]: 0

Umidità relativa esterna [%]: 28.3

Gradi Giorno: 1854

Velocità Vento [m/s]: 2.2

#### DATI ESTIVI DI PROGETTO

Temperatura esterna [C°]: 33.5

Umidità relativa esterna [%]: 45.0

Escursione termica giornaliera [C°]: 13.0

Riduzione irrad. TOT per foschia [%]: 0.0

---

#### TEMPERATURE MEDIE MENSILI [°C]

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
5.1	6.3	9.7	13.6	17.6	22.0	24.8	24.1	20.7	15.1	10.0	6.1

---

#### UMIDITA' RELATIVA MENSILE [%]

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
83.7	76.4	73.0	60.1	64.6	67.6	60.8	55.9	68.9	78.3	88.2	72.3

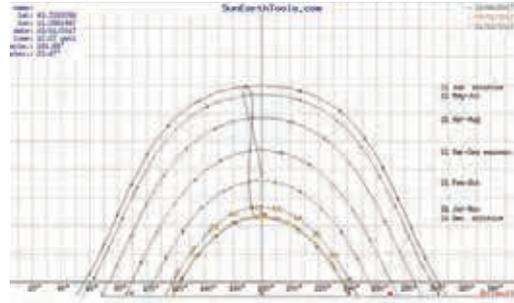
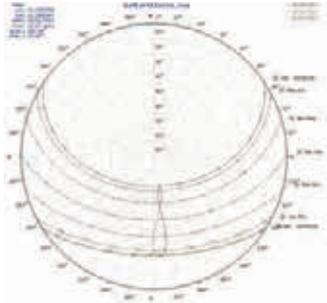
---

#### IRRADIAZIONI

### IRRADIAZIONI [MJ/m²]

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
N	1.8	2.6	3.7	5.4	8.0	9.6	9.3	6.5	4.3	3.0	2.0	1.6
NE	2.0	3.3	5.5	8.5	11.5	13.0	13.5	10.7	7.3	4.3	2.3	1.7
E	4.3	6.3	8.8	11.9	14.4	15.5	16.8	14.8	11.8	8.4	4.9	3.8
SE	7.4	9.3	11.0	12.5	13.2	13.2	14.6	14.7	13.9	12.0	8.1	6.8
S	9.4	11.0	11.5	11.1	10.4	9.9	10.8	12.1	13.6	13.9	10.2	8.8
SW	7.4	9.3	11.0	12.5	13.2	13.2	14.6	14.7	13.9	12.0	8.1	6.8
W	4.3	6.3	8.8	11.9	14.4	15.5	16.8	14.8	11.8	8.4	4.9	3.8
NW	2.0	3.3	5.5	8.5	11.5	13.0	13.5	10.7	7.3	4.3	2.3	1.7
H Tot.	5.3	8.2	12.2	17.4	21.9	24.1	25.6	21.7	16.3	10.9	6.1	4.6

pagina a fronte  
Termus G,  
diagrammi del  
percorso solare



Analizzando i dati climatici del comune, estrapolati dal software ACCA Termus G, sono stati inoltre determinati i valori delle temperature medie mensili (sia a regime invernale sia estivo), e quelli di irradiazione media mensile a seconda dei vari orientamenti.

In seguito, attraverso la lettura dei diagrammi solari, sono stati individuati i percorsi solari ed i relativi valori in coordinate, corrispondenti alle situazioni estreme (solstizio di inverno e solstizio di estate).

Per quanto concerne l'involucro dell'edificio nella sua complessità, esso è in muratura, spessa 45 cm circa, non isolata termicamente. La sua finitura esterna è in pietra bugnata, nella parte frontale visibile dalla strada, e intonacata di giallo sul retro.

A seguito di sopralluoghi è stato inoltre rilevato che: nella zona uffici, immediatamente sotto gli infissi, sono posizionati i radiatori che riducono però, in loro prossimità, lo spessore murario; il soffitto, inclinato, è in cannucciato non coibentato; non sono presenti schermature o aggetti per limitare il carico solare nei mesi estivi; le finestre sono a vetro singolo di 3 mm con infisso di legno; nella palestra gli infissi sono, alcuni di ferro con vetro singolo opaco senza oscuranti, altri in legno massello con vetro semplice.

Infine, la centrale termica è esterna all'edificio, in una piccola resede posta sul retro e non accessibile per l'ispezione.

Per quanto riguarda le utenze della palestra, essa risulta essere utilizzata giornalmente dalle ore 7:00 alle ore 23:00, dal lunedì al sabato.

Per gli impianti elettrici e termici, tramite sopralluogo, sono stati analizzati per ogni zona, e successivamente censiti, i dettagli.

Gli uffici presentano una situazione abbastanza comune e poco suscettibile di miglioramento. Sono infatti presenti computer e stampanti e le lampade presenti sono fluorescenti. Un piccolo bollitore elettrico per l'a.c.s. in bagno potrebbe essere preso in considerazione per eventuali sostituzioni, ma tale scelta comporterebbe un investimento iniziale che difficilmente sarebbe recuperabile in un tempo ragionevole. Nella palestra, invece, l'impianto elet-

➔  
Scheda tecnica  
dei terminali  
di erogazione  
del calore in  
alluminio

## DATI TECNICI TECHNICAL DATA

Modello Model	A Larghezza mm Dimension (width) mm	B Altezza mm Height mm	C Profondità mm Depth mm	D Larghezza mm Width mm	Diámetro pollici Diameter (inches)	Consumo d'acqua litri/elemento Water cons. per litre/element	Resa termica EN 442 $\Delta t = 50$ K Watt/elemento Thermal power EN 442 $\Delta t = 50$ K Watt/element	Resa termica EN 442 $\Delta t = 30$ K Watt/elemento Thermal power EN 442 $\Delta t = 30$ K Watt/element	Esponente N Exponent li
TROPICAL	350	430	95	80	1"	0,25	92	45	1,297
TROPICAL	500	580	95	80	1"	0,34	125	62	1,301
TROPICAL	600	688	95	80	1"	0,38	144	73	1,293
TROPICAL	700	780	95	80	1"	0,44	162	82	1,343
TROPICAL	800	860	95	80	1"	0,49	179	89	1,345

modello	altezza A [mm]	interasse I [mm]	profondità P [mm]	passo [mm]	conf. H2O [P]	peso [kg]	emissioni [W] $\Delta t=50$ °C	espon.
TEMA 2/871	874	813	60	60	0,71	5,2	81,7	1,300
TEMA 3/400	402	342	94	60	0,52	3,9	55,8	1,327
TEMA 3/558	562	500	94	60	0,73	5,0	76,2	1,313
TEMA 3/681	686	623	94	60	0,80	5,9	89,2	1,304
TEMA 3/871	875	813	94	60	1,00	7,7	109,2	1,289
TEMA 4/558	565	500	128	60	0,82	6,2	93,4	1,299
TEMA 4/681	686	623	128	60	0,97	7,5	112,1	1,236
TEMA 4/871	875	813	128	60	1,21	9,8	137,5	1,231
TEMA 5/558	561	500	162	60	1,03	7,6	113,7	1,311
TEMA 5/681	686	623	162	60	1,18	9,2	136,1	1,291
TEMA 5/871	875	813	162	60	1,43	11,2	165,8	1,223
TEMA 8/300	303	242	267	65	1,14	6,9	103,0	1,326

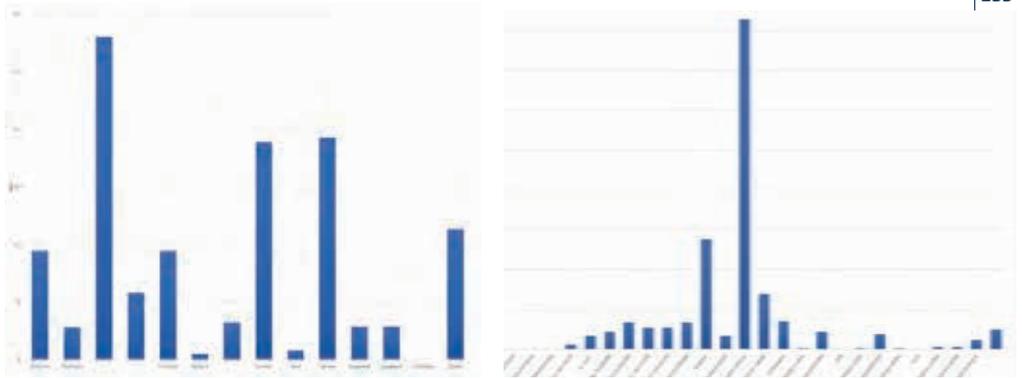
trico non è ottimizzato: l'illuminazione nell'area principale e nel cortile è ottenuta grazie all'uso di lampade alogene ad alto consumo energetico.

Come si evince dall'analisi dei consumi, tali lampade costituiscono la quasi totalità dei consumi elettrici, facilmente contenibili con una semplice relamping dell'intera area.

Grazie ad una attenta documentazione fotografica, è stato possibile redigere una lista completa dei dispositivi; di ognuno di essi poi, sono state ricercate le relative schede tecniche e si è determinata la potenza, al fine di una corretta analisi dei consumi globali. In merito all'impianto termico, nella zona uffici è presente una caldaia ad acqua murale per riscaldamento disposta in ciascun locale d'ingresso, con sistema telematico di telegestione. Gli orari di accensione, controllati in remoto, sono 7.00- 17.30. Gli impiegati lamentano molto freddo la mattina e molto caldo d'estate. Hanno a disposizione due elementi mobili di condizionamento. I terminali presenti in tutto il piano, sono caloriferi in allu-

pagina a fronte  
a sinistra  
Grafico sui  
consumi  
ausiliari  
complessivi  
della palestra

a destra  
Grafico sui  
consumi  
generali  
complessivi



minio. Nella palestra, invece, è presente una caldaia ad acqua in centrale termica esterna al fabbricato principale, non riscaldata. In entrambe le zone, radiatori e convettori sono privi di sistemi di regolazione e contabilizzazione.

### Analisi dei consumi

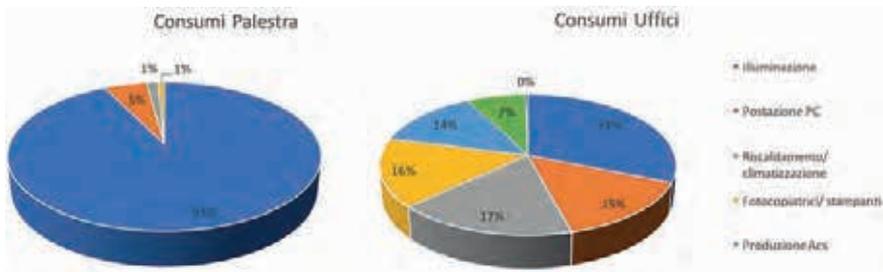
La stima della potenza emessa, tramite censimento dei terminali di riscaldamento, ammonta a circa 56 kW dei quali, circa 48 kW appartengono alla palestra, e solo 8 kW agli uffici. Per questo motivo, la maggiore attenzione, nello svolgimento dell'analisi energetica, è stata posta proprio sul primo elemento. A tale scopo, si è innanzitutto analizzato lo stabile, verificando il rilievo ottenuto dal committente.

Poiché l'obiettivo è la costruzione di un modello di calcolo affidabile, si è proceduto all'analisi dei consumi reali sulla scorta del rilievo accurato degli elementi che consumano energia (termica ed elettrica), presenti e operativi nell'immobile. Infatti, una volta rilevati, tali elementi sono stati catalogati in un abaco con i relativi consumi, calcolandoli laddove non fosse stato chiaramente specificato dal produttore. Si sono dunque calcolati i consumi in base al tempo d'utilizzo presunto di ciascuno di essi, o al tempo di utilizzo verificato, come nel caso dell'impianto termico che ha orari fissi e stabiliti in entrambe le aree dell'involucro.

Una volta fatto tale calcolo, si sono confrontati i dati ottenuti con i consumi effettivi ricavati dalle bollette dell'ultimo triennio. Per quanto riguarda l'impianto elettrico, analizzando i dati rilevati, per prima cosa sono state prese in considerazione le ore di utilizzo da parte dell'utenza. Per fare questo, il coefficiente d'uso giornaliero e il coefficiente d'uso annuale hanno permesso di ripartire il consumo dei singoli dispositivi nelle ore totali di utilizzo. Analizzando l'orario di apertura della struttura e il periodo di attività annuale dell'edificio, si è stabilito che, mentre la palestra viene usata 230 giorni l'anno, per 16 ore al giorno, invece gli uffici sono vissuti per 276 giorni per 7 ore al giorno.

Una seconda fase di studio ha compreso un'analisi qualitativa dei risultati derivanti dal calco-

➔  
Grafici a torta sui consumi complessivi sostenuti per la palestra e per gli uffici



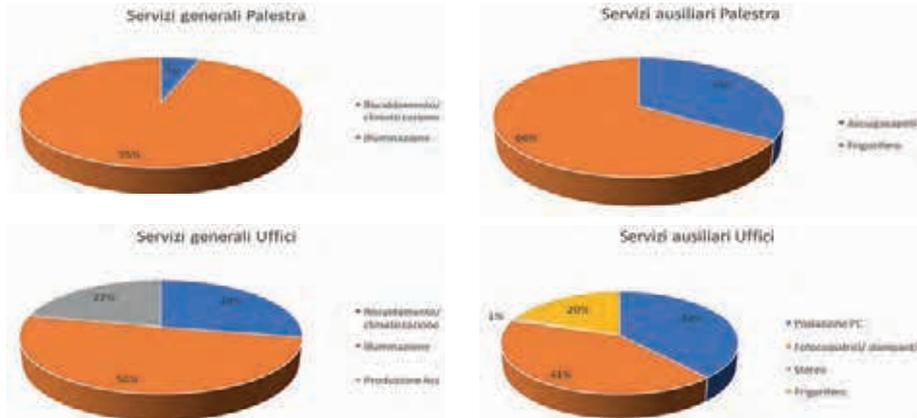
lo del consumo globale di energia elettrica. Per entrambi gli ambienti sono stati considerati: servizi generali, cui corrispondono l'illuminazione e la climatizzazione, che incidono pesantemente nel bilancio globale, e servizi ausiliari, ai quali fanno capo tutti gli apparecchi che forniscono un apporto minore in termini di dispendio energetico, ma che sono comunque strettamente legati all'attività svolta all'interno del fabbricato.

Dalla schematizzazione di quanto sopra detto si desume, per i servizi ausiliari, un consumo totale annuo di circa 1150 kWh, mentre per i servizi generali, un consumo totale annuo di circa 9000 kWh. Il totale globale dei consumi, tra palestra ed uffici, ammonta quindi a circa 10.000 kWh annui. Raggruppando le quote parte di energia consumata dagli apparecchi facenti parte della medesima tipologia di utilizzo, è possibile estrapolare uno schema riassuntivo sia per la scuola che per gli edifici, che possa evidenziare l'ordine di grandezza dei consumi e valutarne possibili anomalie. In alto, i grafici a torta evidenziano la situazione in termini di 'spesa' energetica per uffici e palestra, rispettivamente come servizi generali e ausiliari. I consumi complessivi mostrano come nella palestra l'illuminazione abbia un peso decisamente determinante per i servizi generali, mentre per quelli ausiliari i consumi si ripartiscono pressoché equamente tra frigorifero e asciugacapelli.

Per gli uffici, invece, dalla lettura dei risultati si evince un importante consumo di energia da parte dell'illuminazione, seguito da un pari consumo per la produzione di a.c.s. e per la climatizzazione. Per quanto concerne i servizi ausiliari, invece, un'importante fetta è rappresentata dall'utilizzo di computer e stampanti.

Si è reso necessario confrontare in maniera analitica i risultati degli studi, seguiti al sopralluogo ed alla elaborazione dei dati acquisiti, con i valori di consumo di energia elettrica reali, cioè derivanti dalle fatture delle bollette. Per una più completa analisi risulta preferibile possedere i dati delle bollette di più anni (in genere tre), ma in questo caso si è deciso di procedere in maniera puntuale, analizzando i dati delle fatture di un solo anno,

*pagina a fronte*  
Diagrammi a torta sulle spese energetiche sostenute per servizi generali e ausiliari, nella palestra e negli uffici



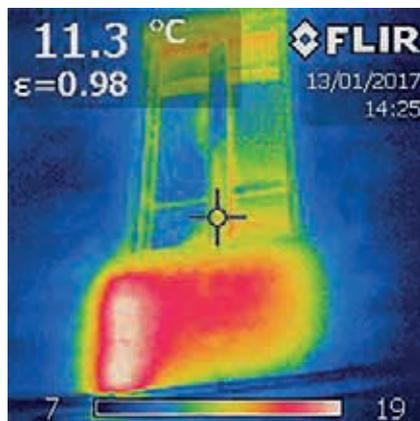
cioè quello i cui dati in fase di acquisizione sono stati riconosciuti più completi, attendibili e compatibili con le attività delle utenze all'interno dell'edificio.

Nello specifico, essendo le due utenze completamente separate, sono stati elaborati e analizzati i dati delle fatture riguardanti anni campione diversi, scelta che si è rivelata la più consona per una corretta e coerente diagnosi (anche in relazione al fatto che le due utenze utilizzano fornitori tra loro differenti). I consumi complessivi, per anno scelto, ammontano a circa 8000 kWh per la palestra, nell'anno 2013 e circa 2500 kWh per gli uffici, nell'anno 2015. Confrontando i risultati del calcolo derivante dallo studio delle apparecchiature elettriche con i dati estrapolati dalle bollette, è possibile concludere che i consumi globali delle singole aree prese in considerazione rientrano nel range ammissibile, e i valori in termini di consumo elettrico si ritengono sovrapponibili. Per svolgere l'analisi dei consumi relativi alla fornitura del gas naturale, è stato necessario fare dei calcoli propedeutici alla verifica dei consumi misurabili relativi alla produzione di acqua calda sanitaria per le docce relative alla Palestra; è stata poi verificata l'effettiva corrispondenza con il dato emerso nella bolletta relativa alla fornitura dell'anno di riferimento (2015), e si è determinato che la spesa ammonta per questo stesso anno a circa 900 euro.

### **Analisi energetiche e ipotesi di intervento**

Tramite termocamera, sono state emesse alcune criticità, in particolar modo in prossimità dei termosifoni posizionati nel sottofinestra. Questo è confermato dall'ispezione interna da

➔ In alto, indagine termografica relativa al primo piano uffici, lato strada. In basso, indagine termografica relativa al piano primo uffici, lato strada.



cui si rileva una notevole riduzione dello spessore murario, sia al piano superiore, che nell'ufficio della palestra. All'esterno, la termografia evidenzia una notevole dispersione termica in prossimità di tali aree. In queste zone, la dispersione termica è dovuta all'assottigliamento dello spessore murario in corrispondenza delle finestre. Come intervento, si prevede quindi un sistema di regolazione del calore, mediante valvole termostatiche a dilatazione di liquido.

Nella palestra e nel cortile esterno ad essa si suggerisce la sostituzione delle lampade esistenti con tipologia a led ad alta efficienza ed analogo flusso luminoso. Per l'assottigliamento murario nel sottofinestra nella zona ufficio, si suggerisce la posa in opera di pannelli riflettenti e coibenti per limitare la dispersione dovuta alla minore sezione muraria. Attraverso un'analisi costi-benefici, si deduce che la sostituzione delle lampade comporta un risparmio annuo di quasi 1000 euro, e un tempo di ritorno economico inferiore ai 2

anni. Per quanto riguarda invece l'installazione nei sottofinestra del cappotto interno, l'intervento viene stimato 250 euro, mentre per l'installazione delle valvole termostatiche si ipotizza un costo di 50 euro cadauna.

Considerato che il risparmio dovuto alla posa in opera del pannello e delle valvole termostatiche è quantificabile rispettivamente in 4% e 11%, si calcola tale risparmio sul totale delle spese effettivamente sostenute. Anche se tramite l'analisi costi-benefici il tempo di ritorno ammonterebbe a 10 anni, tale installazione è tuttavia consigliabile per diminuire le dispersioni di energia e aumentare il comfort ambientale.

## Bibliografia

Conti P., Della Vista D., Fantozzi F., Fasano G., Grassi W., Manetti R., Menchetti E., Schito E., Signoretti P., Testi D., *Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile. Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario*, ENEA.

Grassi W., Testi D., Della Vista D., Menchetti E. 2009, *Simulazione del Comportamento Dinamico di Edifici Ospedalieri e Validazione*, Atti del III Congresso Nazionale AIGE, Parma.

Grassi W., Conti P., Testi D. 2011, *Development of a Simple Transient Model for Radiant Heating and Cooling Systems and Coupling with Building Energy Simulation*, Proceedings of the XXIX UIT Heat, Transfer Conference, Torino.

Thumann A., Younger W. J. 2007, *Handbook of Energy Audits*, Seventh Edition.

Van Dijk H. A. L., Spiekman M. E. 2004, *Energy Performance of Buildings; Outline for Harmonised EP Procedures*, Rapporto finale del Progetto EU ENPER, TNO Building and Construction Research, Delft.





sopra  
corridoio  
posto  
all'ingresso

sotto  
prospetto  
principale  
della scuola  
con vista  
del giardino  
annesso

Estratto da:  
relazione  
tecnica di  
sintesi di  
C. Cavallaro, G.  
Cavallaro, D.  
De Simone, I.  
Kleva,  
C. Oterbo,  
C. Sojjaric,  
G. Virecci Fana

**Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato**

Il caso studio di seguito descritto riguarda l'intervento di diagnosi energetica, redatto sulla base di dati ed elementi reperiti in fase istruttoria, della scuola secondaria di primo grado 'G. Verdi', risalente agli anni '70 e sita a Firenze. Tale scuola è posta nella zona di San Jacopino, a nord di Firenze, ed è circondata da una serie di alberi che hanno una funzione, oltre che estetica, di schermatura dell'edificio nelle ore più calde della giornata.

Il seguente lavoro riassume la relazione tecnica dell'audit energetico realizzato per migliorare le prestazioni dell'immobile; esso si compone, come i precedenti lavori, di più parti.

La prima parte descrive l'immobile nelle sue componenti costruttive, e lo analizza dal punto di vista climatico tramite software Termus.

Attraverso sopralluogo, sono stati rilevati tutte le apparecchiature che nella scuola contribuiscono a costituire la 'spesa' economica; per ciascun componente dell'impianto di illuminazione e di riscaldamento è stato così possibile consultare le relative schede tecniche e dedurre quindi le potenze nominali.

La seconda parte del lavoro è consistita nel dedurre la classe energetica dell'edificio, tramite il software Termus; ad essa è stata poi associata l'individuazione di quelle che sono le 'perdite' energetiche. Conoscere le criticità ha consentito di focalizzare l'attenzione sulla terza fase del lavoro: la proposta progettuale.

Dal momento che la committenza ha richiesto interventi a basso costo, si è proceduto con il discriminare quelli che, anche se appropriati, non fossero indispensabili; si è ritenuto infatti che qualsiasi intervento migliorativo, applicato alla struttura e agli impianti, avrebbe portato benefici sia in termini di benessere e comfort abitativo, che in bolletta.

### **Stato di fatto**

La struttura dell'edificio si sviluppa attorno a un atrio centrale, sul quale si affacciano i diversi ambienti con una distribuzione a spina di pesce: al piano terra troviamo la sala docenti, locali mensa, aule, servizi, palestra con annessi servizi ed un auditorium, al primo piano aule, laboratori per attività pomeridiane, servizi e gli uffici della dirigenza scolastica.



*In senso orario dall'alto verso il basso*

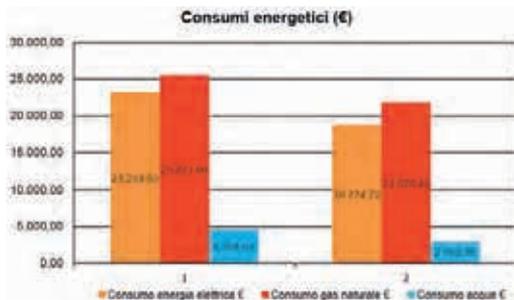
**Sala mensa e sala docenti, terminale di erogazione del calore in ghisa e climatizzatore portatile**



*pagina a fronte sopra a sinistra*  
**Grafico sui consumi energetici tra energia elettrica, gas naturale e acqua, afferiti all'anno 2015**

*sopra e in basso a destra*  
**Grafici sulla ripartizione dei consumi elettrici**

La copertura piana, praticabile, dà accesso ad alcuni dei locali macchine della scuola, mentre altri sono posti nel piano seminterrato ed altri ancora in un locale sottoscala dell'auditorium. Internamente, i due piani sono collegati tramite tre corpi scala, dei quali uno è dotato di ascensore. All'esterno invece, vi sono cinque corpi scale utilizzati come via di fuga; un corpo scala dà accesso ad uno spazio utilizzato per le attività esterne alla scuola. A seguito del sopralluogo, e da una verifica effettuata dall'ufficio tecnico del Comune di Firenze, è stato desunto che le utenze elettriche della scuola e del centro sociale sono alimentate da un'unica centrale di distribuzione. Stesso ragionamento vale per l'impianto erogatore di gas. per quanto riguarda il riscaldamento degli ambienti: una caldaia alimentata a gas naturale distribuisce calore attraverso terminali in ghisa, colorati e di diverse dimensioni. L'auditorium e la palestra sono invece riscaldati attraverso due distinte unità di trattamento aria. Per l'acqua calda sanitaria vi sono due caldaie, una posta nel locale macchine al piano seminterrato, l'altra utilizzata in primavera ed



Ripartizione consumi elettrici	consumo totale kWh
Illuminazione	49955
Postazioni computer	636
LM lavagna	1552
Fotocopiatrici e stampanti	2683
Distributori caffè/bevande	28
Elettrodomestici vari	2415
Ascensori	4678
Condizionatori e stufe	4904
Bolser di produzione ACS	10
Trattamento aria	3308
	110159

estate, posta in un locale macchine sulla terrazza. La struttura portante dell'edificio è intelaiata in cemento armato, mentre le murature di tamponamento sono del tipo 'a cassetta' senza interposto isolamento. I solai sono realizzati in latero-cemento. Gli infissi sono in alluminio, senza taglio termico e con vetro singolo.

## Analisi energetica e VAN

Dopo aver censito tutti i terminali degli impianti di riscaldamento, quelli antincendio, e quelli legati all'illuminazione, attraverso il software Termus, è stata determinata la classe energetica dell'edificio, che risulta essere a cavallo tra la 'C' e la 'D'. Sono state individuate tre distinte tipologie di perdite energetiche: alta trasmittanza dell'involucro non isolato, infissi in alluminio non a taglio termico e con vetro singolo, e tubazioni impianti non coibentate. Tramite l'analisi delle bollette risalenti al triennio precedente a quello di rilievo (2017), si è rilevato che i consumi elettrici e termici, riferiti all'anno 2015, ammontavano a circa 50.000 euro.

Vista la spesa troppo elevata per le amministrazioni, sono state allora vagliate alcune proposte di miglioramento dello stato di fatto; tali proposte possono essere suddivise in due branche di intervento: su impianti e sull'involucro edilizio. Come si può vedere sia dallo schema riportato sulla sinistra al centro, che dal grafico a torta in basso, la maggiore spesa è relativa ai consumi elettrici, in particolar modo all'illuminazione (45%). È qui, quindi, che occorre intervenire più massicciamente.

La proposta di intervento prevede la sostituzione di tutte le lampade a neon ed alogene con lampade a led; in tal modo, il risparmio, in termini di consumi energetici, è pari a circa 5.200 euro. Il tempo di ritorno dell'investimento è stimato in 4 anni. In merito invece al consumo dell'impianto di riscaldamento e produzione di ACS, durante l'anno 2014, la maggiore spesa è attribuita al sistema di riscaldamento. Si denota il buon uso della doppia caldaia: la prima, di potenza maggiore, viene utilizzata nei mesi invernali, sia per riscaldamento che per l'ACS, mentre l'altra, di potenza inferiore, viene avviata dalla primavera all'estate.

Alla luce di queste considerazioni, si propone l'installazione di valvole termostatiche e contabilizzatori di calore di tipo indiretto per regolare le temperature, a seconda del vero fabbisogno energetico. L'applicazione dei contabilizzatori di calore permette di responsabilizzare l'utente nella regolazione della temperatura a cui vengono impostate le valvole termostatiche; inoltre, permette di misurare l'effettivo consumo di ogni singolo ambiente, sommando i valori forniti dai singoli contabilizzatori.

Nel caso attuale, la regolazione climatica avviene con sonda inserita nell'atrio; ciò falsa di molto il reale fabbisogno interno alle aule per differenza di volumetria e di apporti interni, con una conseguente dispersione energetica. Ne risulta quindi una temperatura superiore a quella necessaria nelle aule e, dunque, un maggior consumo.

Il risparmio calcolato deriva in larga parte anche dalla differenza del valore di rendimento di regolazione.

Per ragionare a livello più completo, si è ipotizzato di sostituire gli infissi di aule ed uffici della scuola, per un totale di spesa pari a circa 27.000 euro, con un tempo di ritorno dell'intervento pari a circa 12-13 anni.

Grazie al Conto Termico 2.0, in vigore dal 31 maggio 2016, è possibile ottenere delle riduzioni sotto forma di incentivi.

Nel caso specifico, rientrando le tipologie di interventi considerati tra quelli ammissibili per procedere alle agevolazioni, si stima una riduzione dei tempi di ammortamento degli investimenti pari a: tre anni (per l'installazione delle valvole termostatiche e dei contabilizzatori del calore), quattro anni (per la sostituzione di lampade attuali con lampade a scarica), e quattordici anni (per la sostituzione degli infissi delle aule e degli uffici).

## Bibliografia

Caredda F. V. 2009, *Analisi e Confronto di Sistemi per Produzione di Acqua Calda Sanitaria*, Tesi di Laurea Specialistica, Università degli studi di Cagliari, Cagliari.

Duffie J.A., Beckman W. A. 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, INC.

Fabrizio E., Filippi M., Virgone J. 2009, *An hourly modeling framework for the assessment of energy exploitation and energy converters selection and sizing in buildings*, Energy and Buildings, pp. 1037-1050. Fabrizio E. 2011, *Feasibility of polygeneration in energy supply systems for health-care facilities under the Italian climate and boundary conditions*, Energy for Sustainable Development, pp. 92-103.

Judkoff R., Neymark J. 1995, International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Boulder Colorado, USA.

Vio M. 2009, *Impianti di Cogenerazione*, Editoriale Delfino.





## Biografie



### **Arch. Prof. Giuseppe Ridolfi**

Architetto, dottore di ricerca, professore associato alla Scuola di Architettura e membro del Collegio di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze. Ha svolto e svolge attività di ricerca e didattica in ambito nazionale e internazionale sui temi della progettazione tecnologica e ambientale, project management, BIM & parametric computation, visual design, new media art, multimedia & interactive installations. Ha svolto attività progettuale per opere complesse e pianificazione di sistemi strutturali scolastici, universitari, socio-assistenziali e ospedalieri. È stato consulente per Amministrazioni Pubbliche e i Ministeri della Sanità e dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per cui ha anche sviluppato linee guida per la progettazione e sistemi informatici di valutazione edilizia e della qualità architettonica. I suoi lavori sono oggetto di pubblicazioni e parte della collezione permanente del «Museo del Novecento» di Firenze. È direttore del laboratorio congiunto Imprese-Università Mailab. biz – Multimedia Architecture Interaction.



### **Ing. Alessandra Donato**

Laureata in Ingegneria edile-architettura, consegue il titolo di MsC in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente ABITA presso l'Università di Firenze nel 2012. Dal 2016 è Dottore di Ricerca in Tecnologie dell'Architettura. È Assegnista di Ricerca, presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze nell'ambito di attività di ricerca relative allo sviluppo e alla valutazione delle prestazioni energetiche di componenti di facciata innovativi mediante misure strumentali per il contenimento dei consumi energetici in edilizia. Collabora, con il Centro Interuniversitario ABITA, su progetti di ricerca internazionali nel settore dell'architettura bioclimatica e delle tecnologie innovative per l'ambiente. Dal 2017 è docente a contratto al Master di II livello ABITA e al corso di Tecniche del Controllo Ambientale nel Laboratorio di Architettura e Ambiente, della Facoltà di Firenze.



### **Arch. Prof.ssa Antonella Trombadore**

Professore a contratto presso l'Università di Firenze, dal 1999 svolge attività di ricerca e progetto presso il Dipartimento di Architettura e il Centro Interuniversitario ABITA. Architetto, Dottore di Ricerca in Tecnologie architettoniche dell'Università di Firenze, Master in Energy Management. Dal 2013 collabora con la SAR (Regione Autonoma della Sardegna), all'interno del progetto FOSTER in MED. Consulente per la Regione Toscana e direttore RT Environmental Policy Energy and Climate Change, per la pianificazione europea HORIZON 2020 e INTERREG IT\_FR. Dal 2015 collabora con l'Ente Parco dell'Asinara per la pianificazione e la fruizione responsabile delle isole minori. Co-fondatore e Direttore Tecnico dal 2014 della Società di ingegneria WAVES Lab e socio-economico. Collabora con il Master "Sustainable design and technologies for built environment" presso l'Università di Firenze. Membro del WREN (World Renewable Energy Network), e autore di oltre 40 pubblicazioni.



Finito di stampare per conto di  
**didapress**  
**Dipartimento di Architettura**  
Università degli Studi di Firenze  
Marzo 2018





La pubblicazione non vuole essere un manuale, ma prevede la descrizione di strumenti e l'applicazione di metodi di analisi da adottare sin dalle prime fasi di progetto. Il testo si compone in diverse parti che concorrono a suggerire come pre-requisito fondamentale a supporto delle scelte progettuali, l'utilizzo di modelli di analisi e simulazione energetica. La pubblicazione, nella prima parte, raccoglie alcuni contributi che trattano il tema dell'edificio ad energia quasi zero sviluppando l'aspetto tecnologico per gli edifici interattivi e dinamici fornendo una raccolta descrittiva di casi tecnologicamente avanzati. L'involucro dell'edificio è un elemento attivo che provvede automaticamente o autonomamente a trasformare le risorse ambientali esterne in sorgenti di energia per la climatizzazione interna; la facciata e la copertura sono gli elementi dove si sperimentano le possibilità e le applicazioni più interessanti, sia per la componente tecnologica che per quella architettonica. Viene in particolare messo in risalto il tema della simulazione energetica dinamica e parametrica applicata alla progettazione ambientale con il BIM come pre-requisito essenziale per la progettazione di edifici ad energia quasi zero. Nel saggio 'sull'Efficientamento energetico, certificazione e audit energetici', vengono analizzate le problematiche ambientali ed energetiche dei nuovi edifici e di quelli esistenti e del quadro normativo di riferimento in ambito di efficienza energetica in edilizia, introducendo il tema del comfort termoisolometrico e della sua valutazione attraverso gli strumenti di diagnosi e standard di valutazione. Un altro saggio è dedicato ai casi applicativi di Green design ed eco efficienza, finalizzati al turismo sostenibile, in particolare sono evidenziate esperienze progettuali realizzate per due isole in Toscana e Sardegna: Giglio e Asinara. La seconda parte del libro è rivolta ad attività di ricerca e progettazione sostenibile attraverso 11 tesi di master. La terza parte inquadra il tema della diagnosi e simulazione energetica applicata a tre casi studio di edifici scolastici del Q1 del Comune di Firenze.

**Lucia Ceccherini Nelli**, Architetto, dottore di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, professore a contratto di Progettazione Ambientale presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Membro del Centro Interuniversitario ABITA di Firenze in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per L'Ambiente, è docente del corso di Master di II livello ABITA dell'Università degli Studi di Firenze, attivo sin dal 2003. Partecipa all'organizzazione di seminari e convegni internazionali come il Med Green Forum di Firenze (edizioni 2015 e 2017), sulle tematiche dell'architettura NZEB e della sostenibilità ambientale in aree mediterranee. La sua attività di ricerca è incentrata principalmente sulle tecnologie innovative e sul risparmio energetico, con particolare attenzione all'uso di fonti rinnovabili negli edifici. Autrice di numerose pubblicazioni scientifiche, svolte nell'ambito dell'edilizia sostenibile e delle soluzioni impiantistiche innovative, dal 2002 partecipa alla realizzazione di impianti fotovoltaici, integrati in prestigiosi edifici pubblici in Toscana.

ISBN 978-88-3338-012-4



9 788833 380124

€ 25,00