

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 da inserire

Stampato su carta di pura cellulosa Fedrigoni Arcoset

ELEMENTAL
CHLORINE
FREE
GUARANTEED



HEAVY METAL
FREE
PRESERVE
CE 94703

INDICE

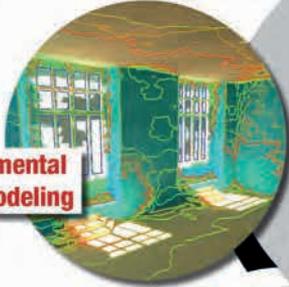
Presentazione	8
Marco Sala	
Edifici interattivi e involucri dinamici. Strategie e tecnologie di riqualificazione energetica	10
Lucia Ceccherini Nelli	
BIM e simulazione ambientale nelle fasi iniziali del progetto	46
Giuseppe Ridolfi	
Efficientamento energetico, certificazione e audit energetici	56
Alessandra Donato	
Green design ed eco efficienza per un turismo sostenibile nel Mediterraneo: esperienze di progetto sull'isola del Giglio e Asinara	66
Antonella Trombadore	
Attività di ricerca e progettazione sostenibile: 11 tesi del master Abita	78
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Componente Dinamico di Facciata a Concentrazione	86
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Integrazione architettonica in facciata di dispositivi di ombreggiamento in mattoni e celle PV	96
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Concentratori solari luminescenti tra Innovazione e Progettazione	102
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	

Schermature solari e simulazioni energetiche: casi studio a confronto	114
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Il BIM come strumento per la riqualificazione energetica degli edifici storici	124
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
La simulazione energetica dinamica tramite il BIM, Ex-Lanificio di Stia	134
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
n-ZERO FOUNDATION	146
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Proposta di riqualificazione energetica della Scuola di Roccastrada	154
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Diagnosi energetica. Presentazione di un caso studio dell'istituto comprensivo Manzoni a Torino	162
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Audit integrato via virtual tour per una scuola di Bitonto	172
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Sardegna Green Building: Analisi del fabbisogno energetico in ex complesso carcerario nell'isola dell'Asinara	186
Lucia Ceccherini Nelli e Giada Gallo Afflitto	
Diagnosi energetiche: tre scuole del Comune di Firenze	198
Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	
Audit energetico di dettaglio: Scuola Secondaria di I grado Giosué Carducci	216
Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	
Audit energetico: Palestra San Niccolò	226
Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	
Audit energetico: Scuola di Primo Grado G. Verdi	236
Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato	
Biografie	242

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**

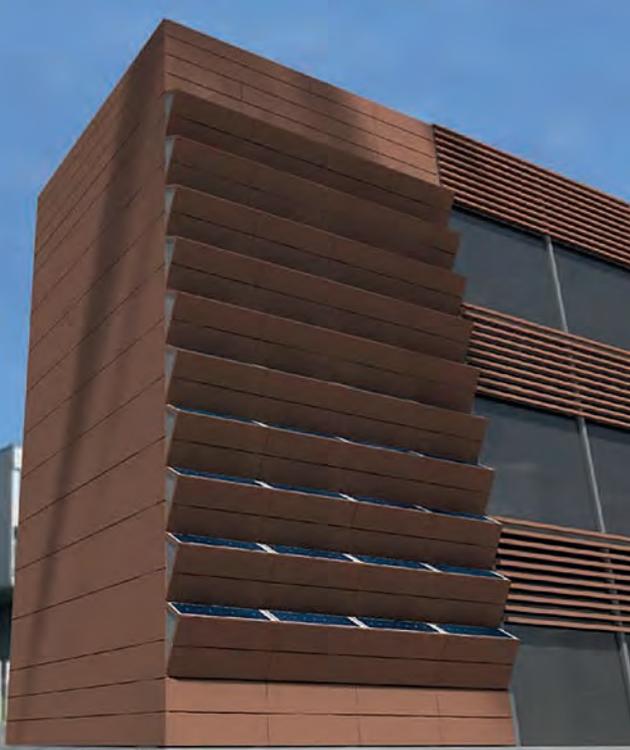
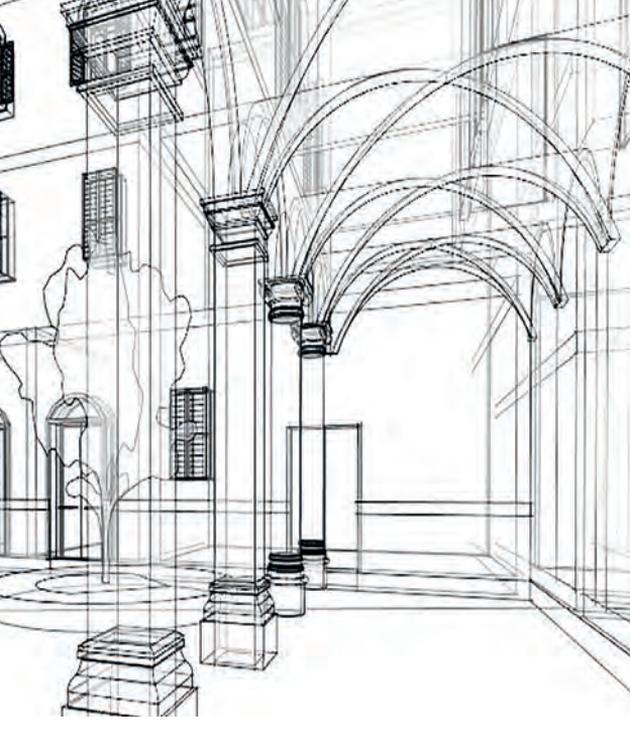
Il settore delle costruzioni, pur avendo una limitata crescita delle nuove costruzioni e sviluppandosi soprattutto sulle ristrutturazioni, assorbe comunque una quota molto grande dei consumi energetici. Le nuove normative europee puntano ad incidere sulle modalità costruttive in questi anni per arrivare, 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.



**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.

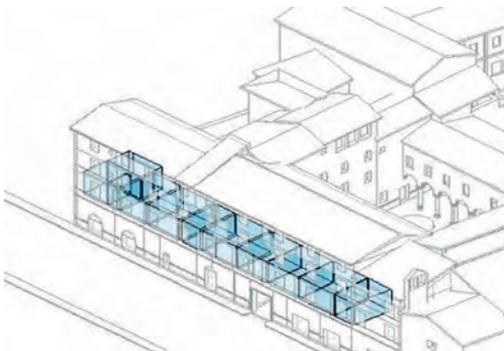
Le ricerche e gli studi e condotti nelle undici tesi qui raccontate, manifestano proprio questa volontà da parte di coloro che le hanno scritte; indagando in modo sistematico le sperimentazioni attuali sull'innovazione dell'involucro architettonico, si aprono le porte a sviluppi futuri, dove l'evoluzione 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,



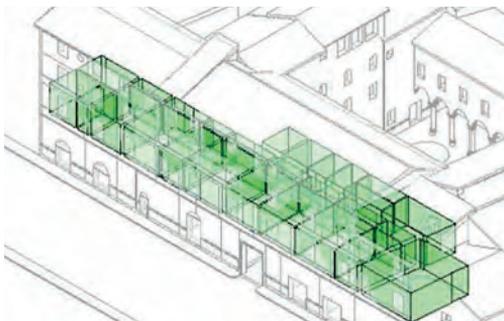
a sinistra
esportazione
del modello
energetico a
masse concettuali
in formato green
Building XML,
con indicazione
dei locali



sopra a destra
BedZED, edificio
completamente
sostenibile



sotto a destra
Heliotrope, 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.

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

sotto
Restituzione tridimensionale delle componenti di un frangisole a concentrazione

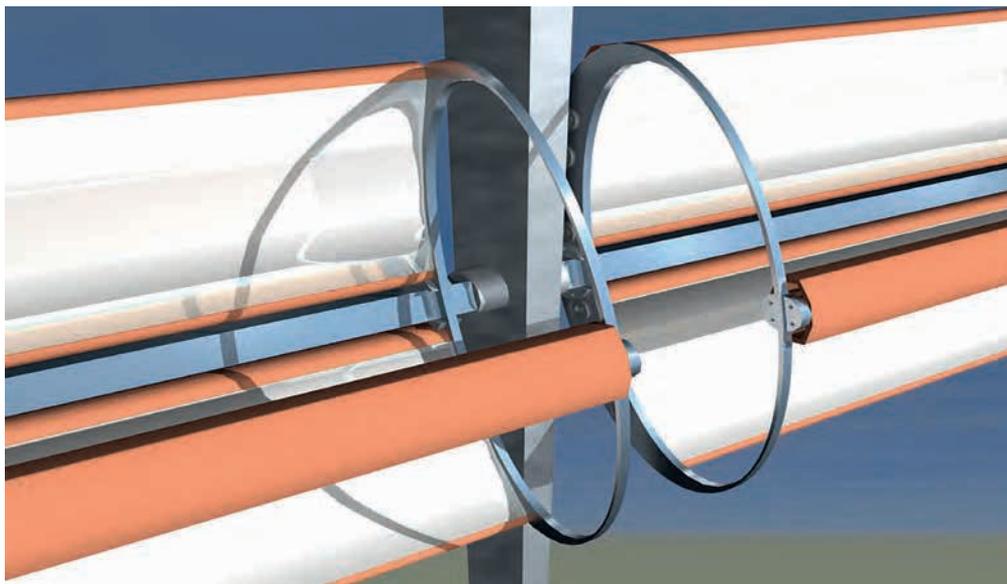
Il patrimonio edilizio pubblico, in particolare quello scolastico, necessita di interventi di riqualificazione energetica; così, il lavoro svolto, intende fornire i corretti strumenti di analisi e le procedure più idonee alla realizzazione di un audit energetico completo.

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



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

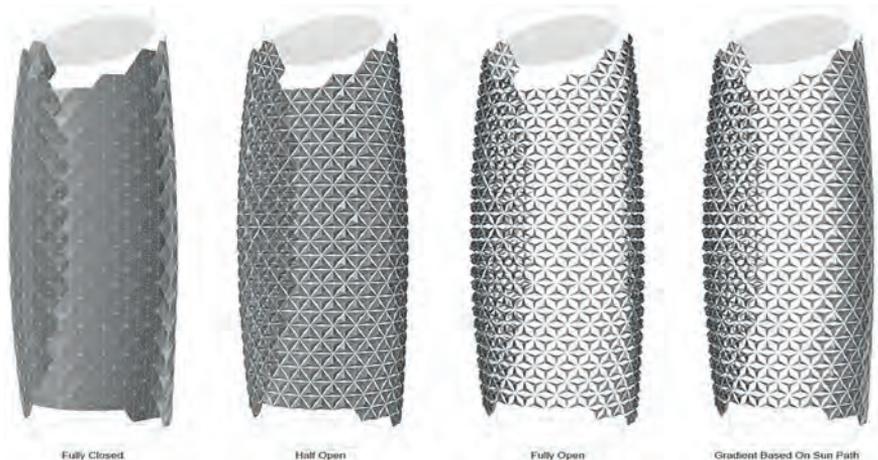
Il quadro di riferimento tematico in cui si colloca questa tesi, è quello delle prestazioni dell'involucro edilizio: il concetto di involucro deriva da quello classico di facciata, radicalmente trasformato nel corso del tempo, soprattutto a partire dalla seconda Rivoluzione Industriale; con l'introduzione 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.

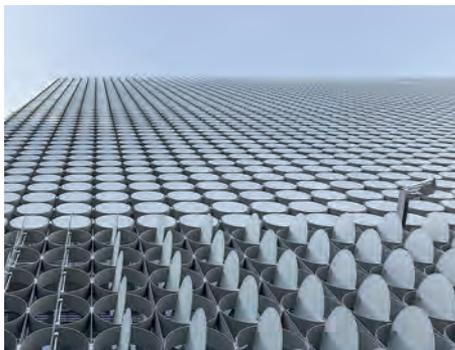
L'integrazione di questi due nuovi concetti conduce ad un'architettura che possa cambiare configurazione durante il giorno e la notte, e che possa variare al mutare delle condizioni climatiche esterne, in caso di sole o pioggia, vento o umidità: ecco allora che dal concetto di involucro edilizio si passa 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
 EFTE
 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.

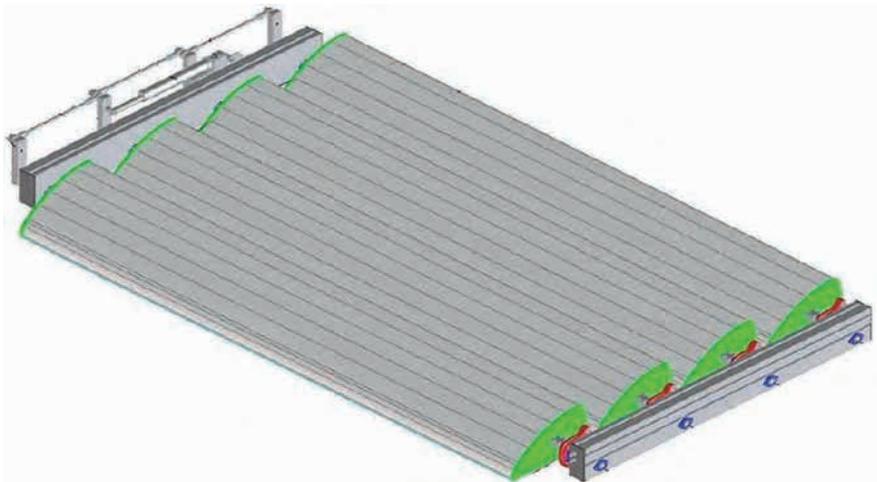
Il concentratore parabolico lineare, se ben progettato, è in grado di adattarsi a più contesti: dal residenziale al terziario, dal nuovo allo storico. Considerando però i numerosi punti in comune tra le funzioni e le modalità di installazione di elementi di ombreggiamento e moduli fotovoltaici, risulta 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



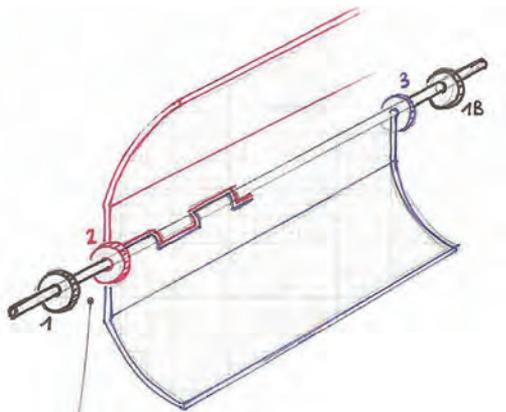
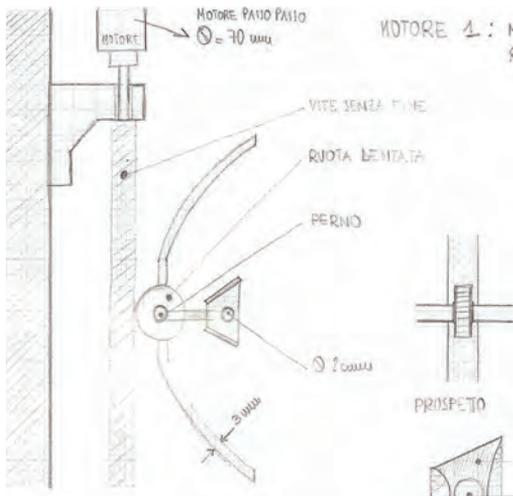
da lenti rifrattive, attraverso le quali si convoglia la radiazione solare verso il ricevitore; un sistema di inseguimento solare, ovvero un dispositivo meccanico in grado di inseguire, istante per istante, la luce solare, rendendo in tal modo il sistema altamente efficiente (tra il 25% e il 50%). Infine, 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, poiché 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 riflessivo 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.

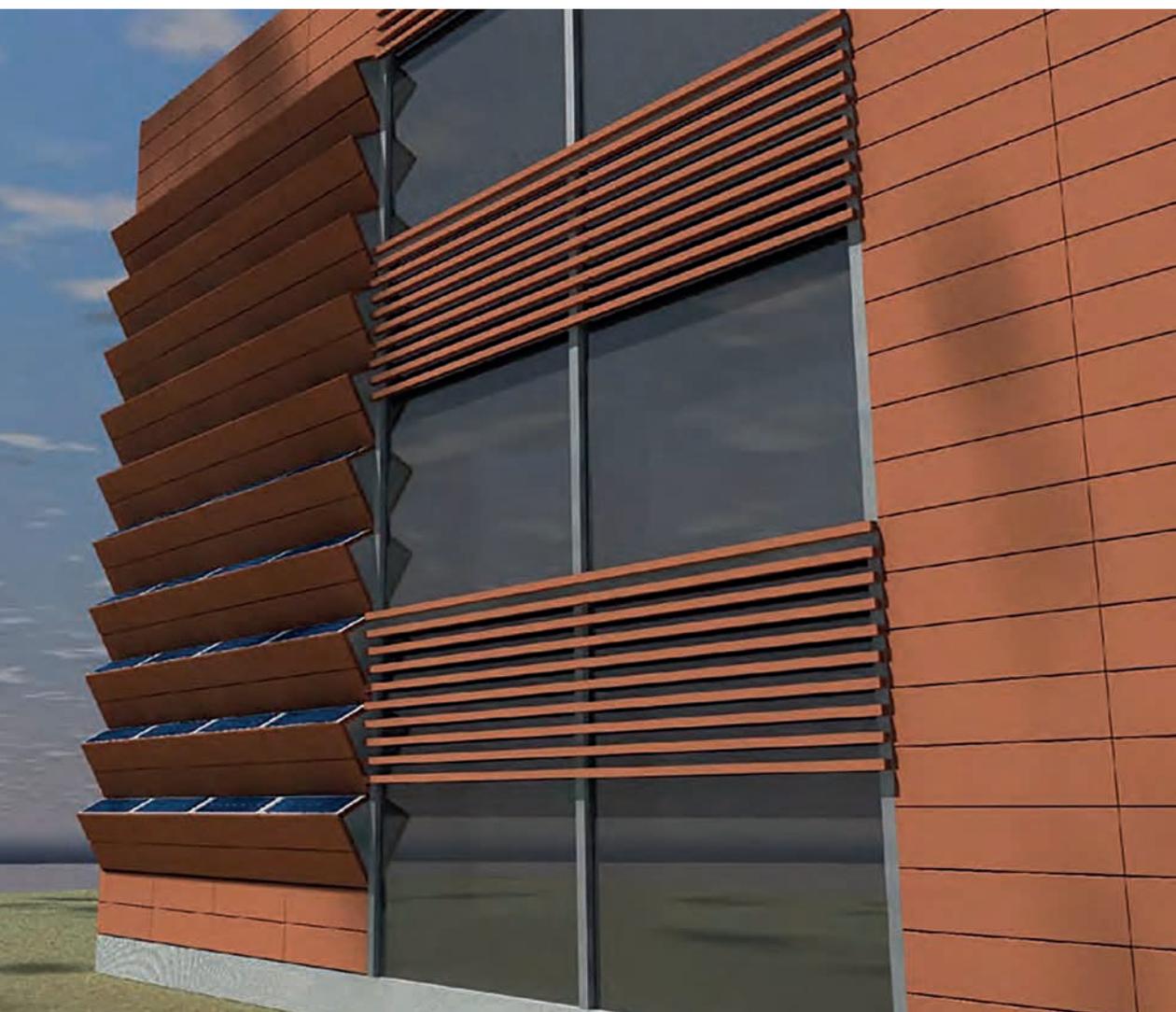
Bibliografia

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

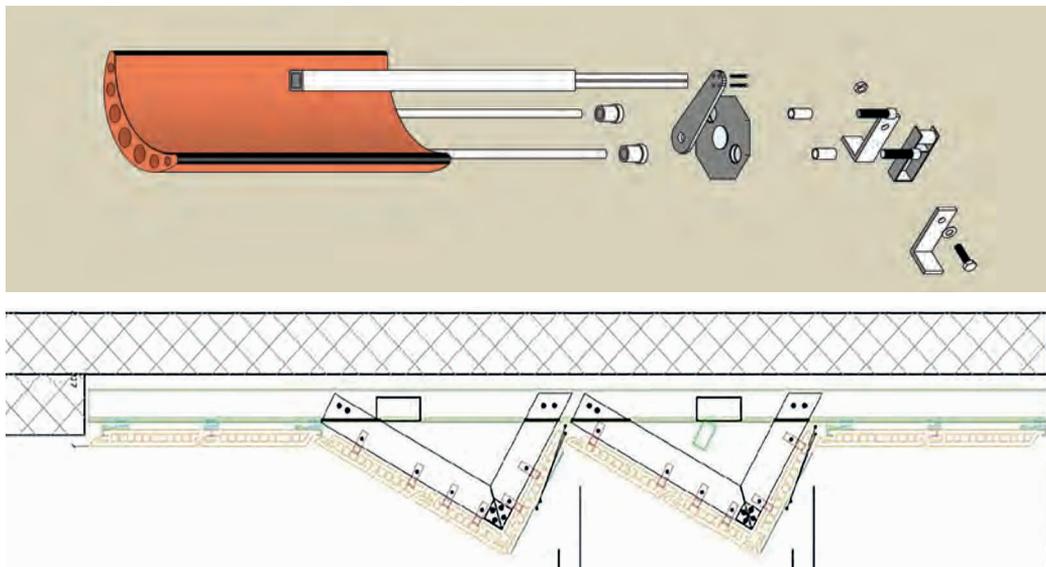
Il seguente lavoro, che consiste nella prototipizzazione di pannelli fotovoltaici applicati ad una facciata ventilata, si colloca all'interno di una ricerca sviluppata dalla facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, congiuntamente ad aziende toscane, al fine di colmare il divario 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

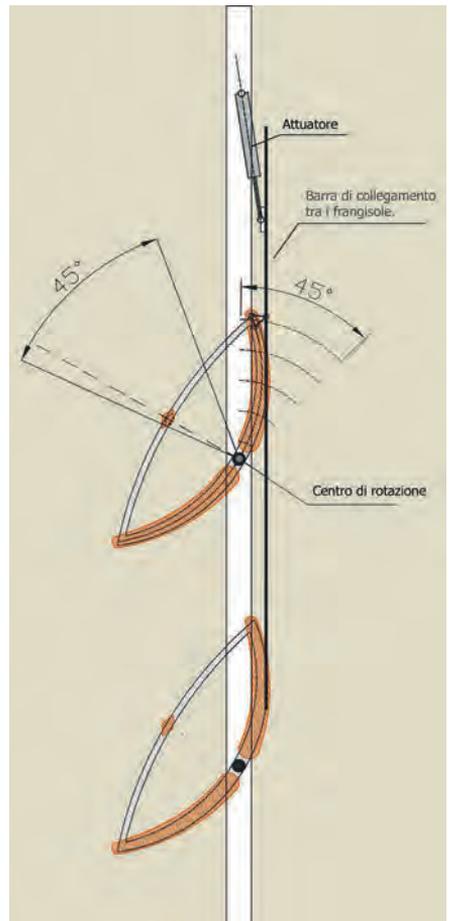
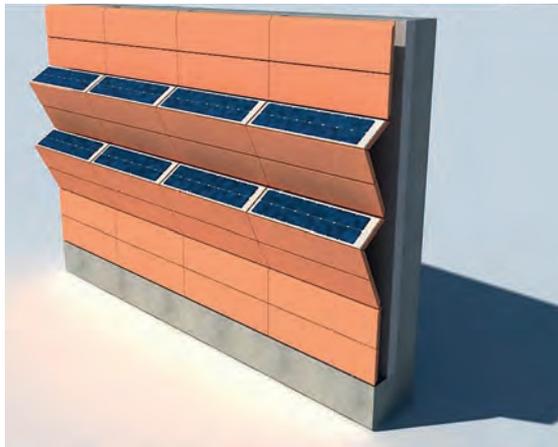
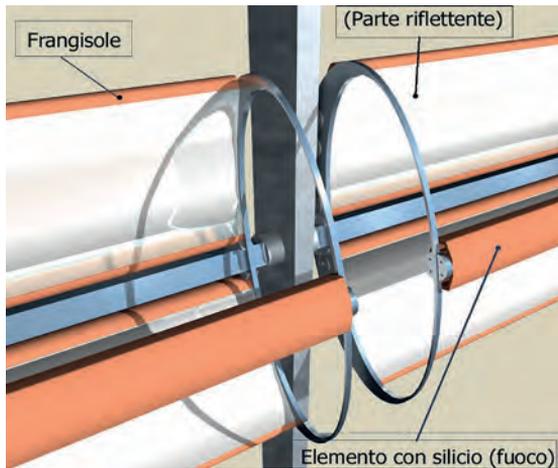
permettere agli elementi in cotto di avere l'inclinazione desiderata. La struttura portante, che ha lo scopo di collegare la facciata ventilata alla parete dell'edificio, è in profilato metallico (alluminio), con sistema di ancoraggio (elementi in cotto), opportunamente dimensionato per resistere al 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° invece che 180°).

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.

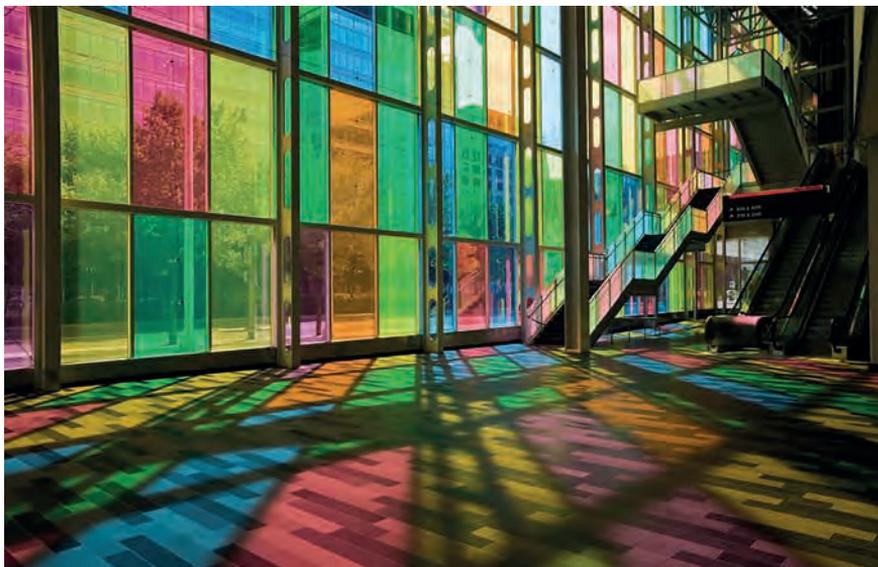
Ciascun esempio riportato conferma la versatilità e la reiterabilità dei pannelli LSCs, nonostante l'esiguo rendimento; questi fattori, uniti al fatto che il loro costo è basso o addirittura (se pensato per essere integrato direttamente), quasi nullo, rendono tali dispositivi appetibili alle amministrazioni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



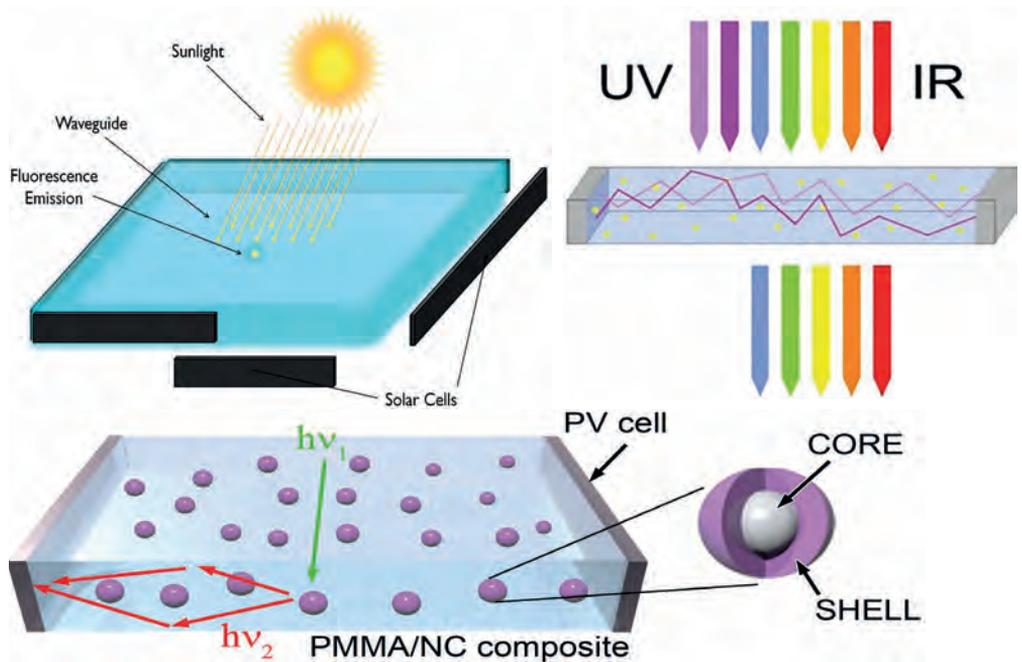
pagina a fronte sopra a sinistra
elementi costituenti un pannello LSC

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 basto 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 utilizzanti 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.

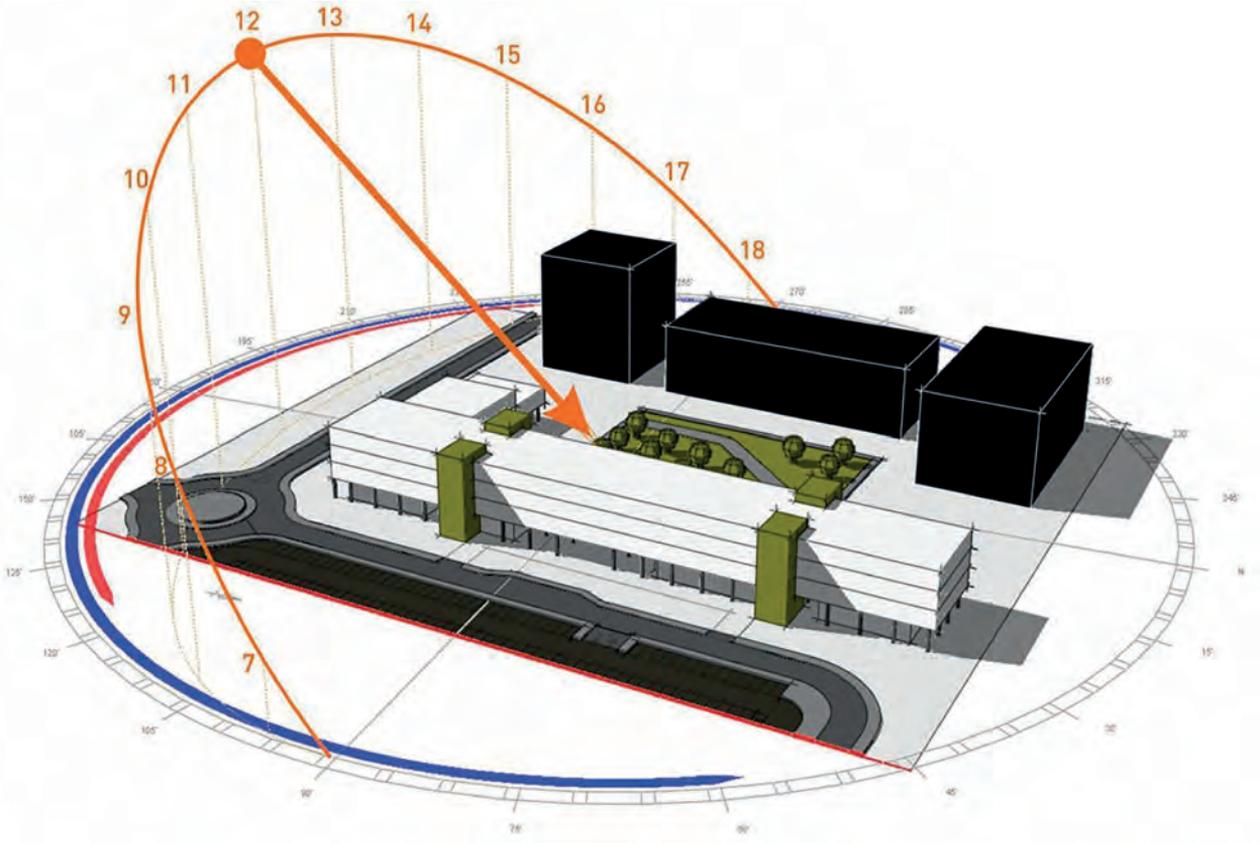
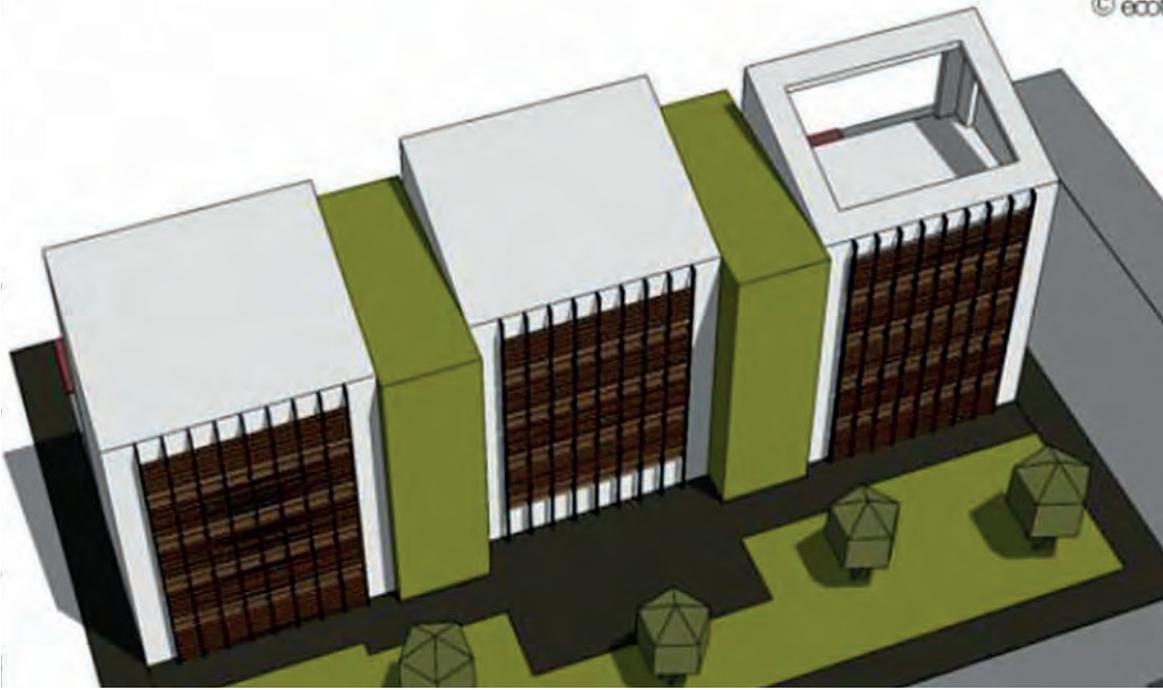
Desmet L., Ras A. J. M., De Boer D. K. G., Debije M. G. 2012, *Monocrystalline silicon photovoltaic luminescent solar concentrator with 4.2% power conversion efficiency*, Optical Society of America.

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-

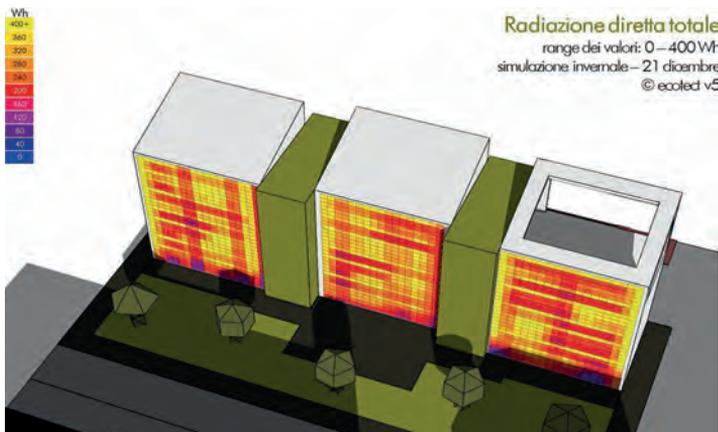
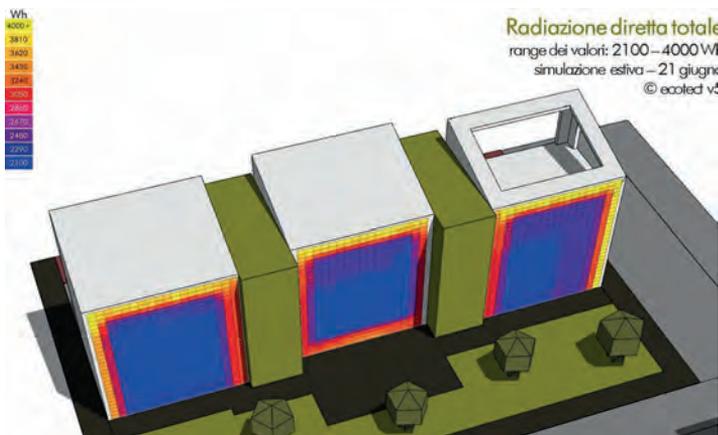
➔
sopra
restituzione
tridimensionale
di schermature
solari poste
sulla facciata
dell'ospedale di
Orbetello

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



21 giugno - ore 12:00
© ecolted v5



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.

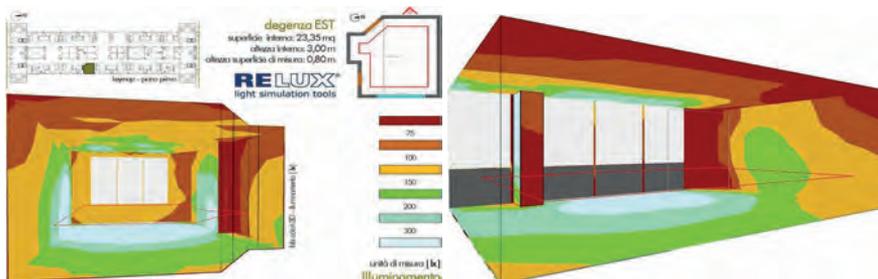
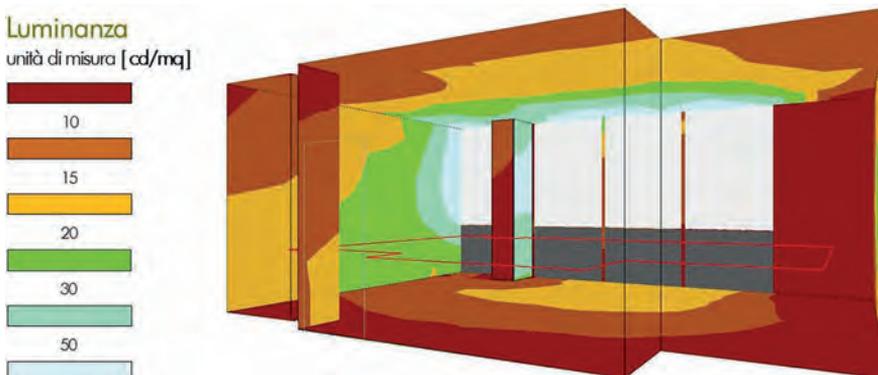
Sfruttando i dati ricavati dallo studio dell'altezza solare, si è verificato di quanto cambiassero i valori variando l'inclinazione delle lamelle in ambienti e punti specifici.

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**

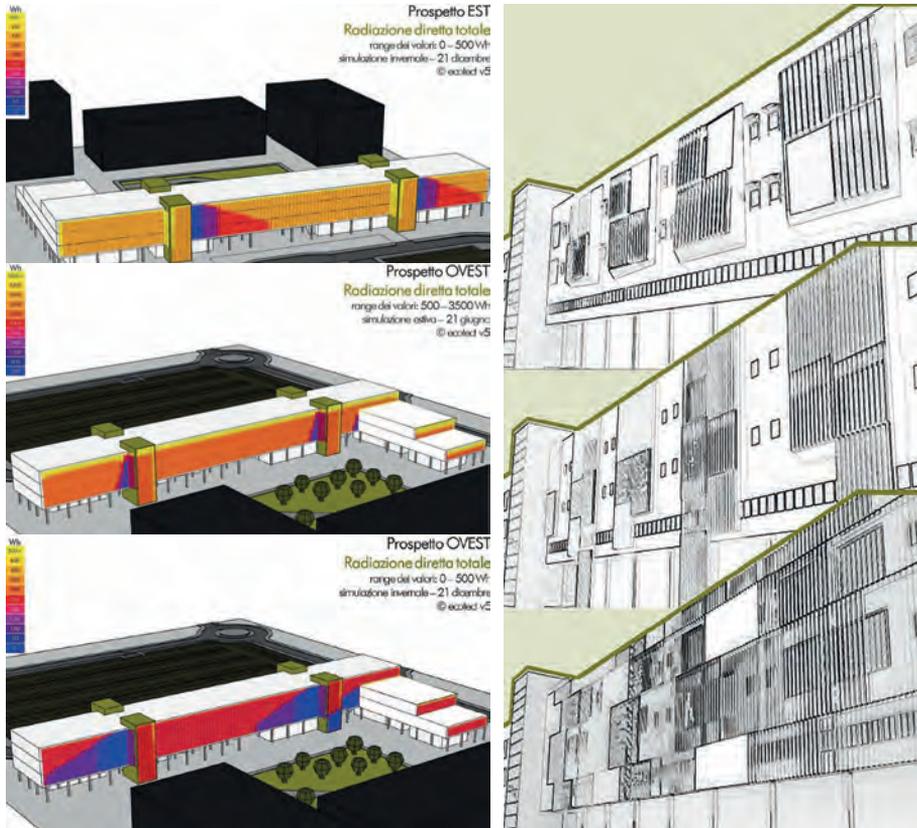
zione naturale nei mesi invernali (in cui i raggi solari hanno una inclinazione più bassa), e quindi quando se ne richiede maggiormente la necessità.

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



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

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.



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.

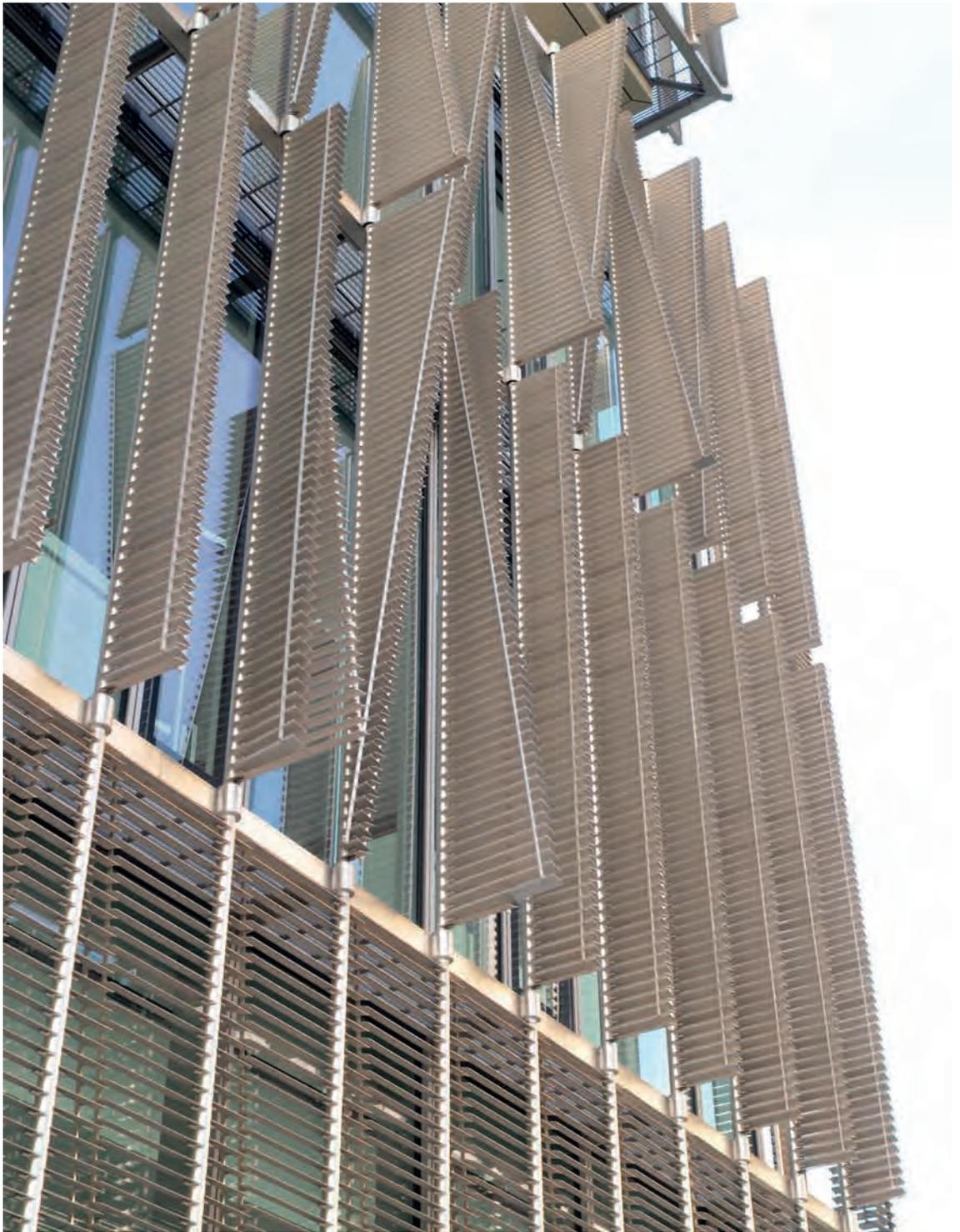
Grosso M. 2005, *Progettazione ecocompatibile dell'architettura: concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi: energia, edifici, spazi esterni, suolo e materiali*, Sistemi Editoriali, Napoli.

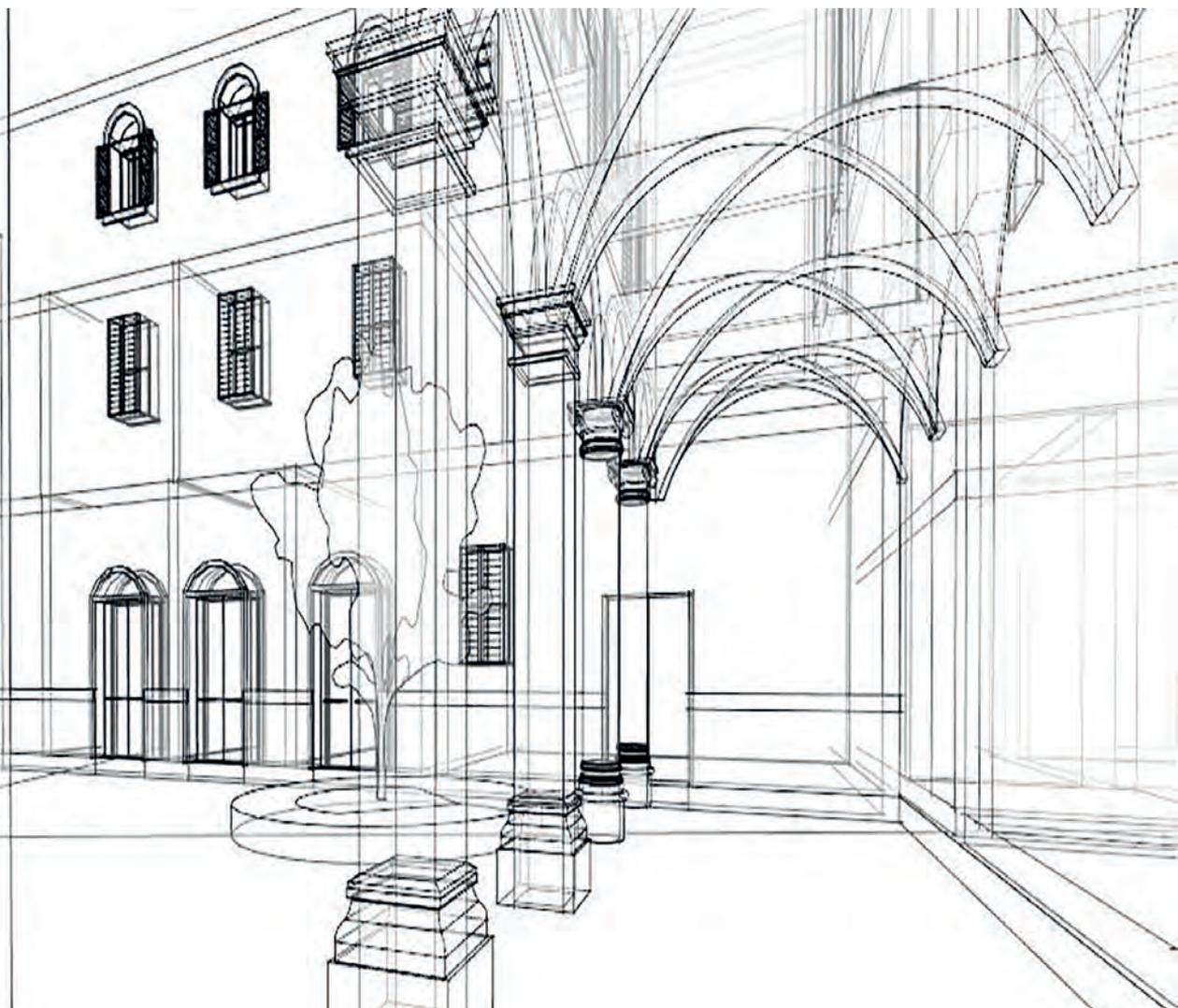
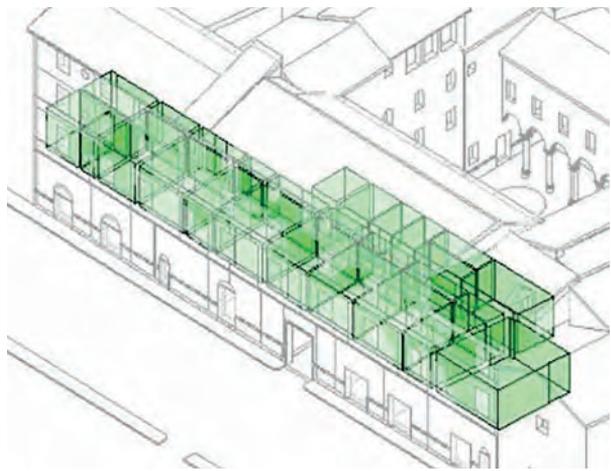
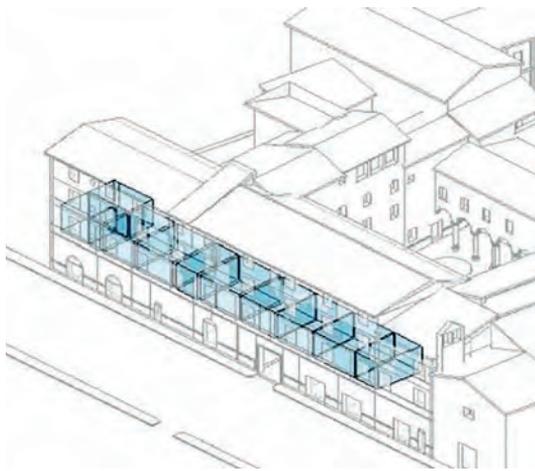
Grosso M., Raimondo L., Parisi E., Simonetti M., Dell' Anna F., Cassiba M. 2008, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, San Marino.

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

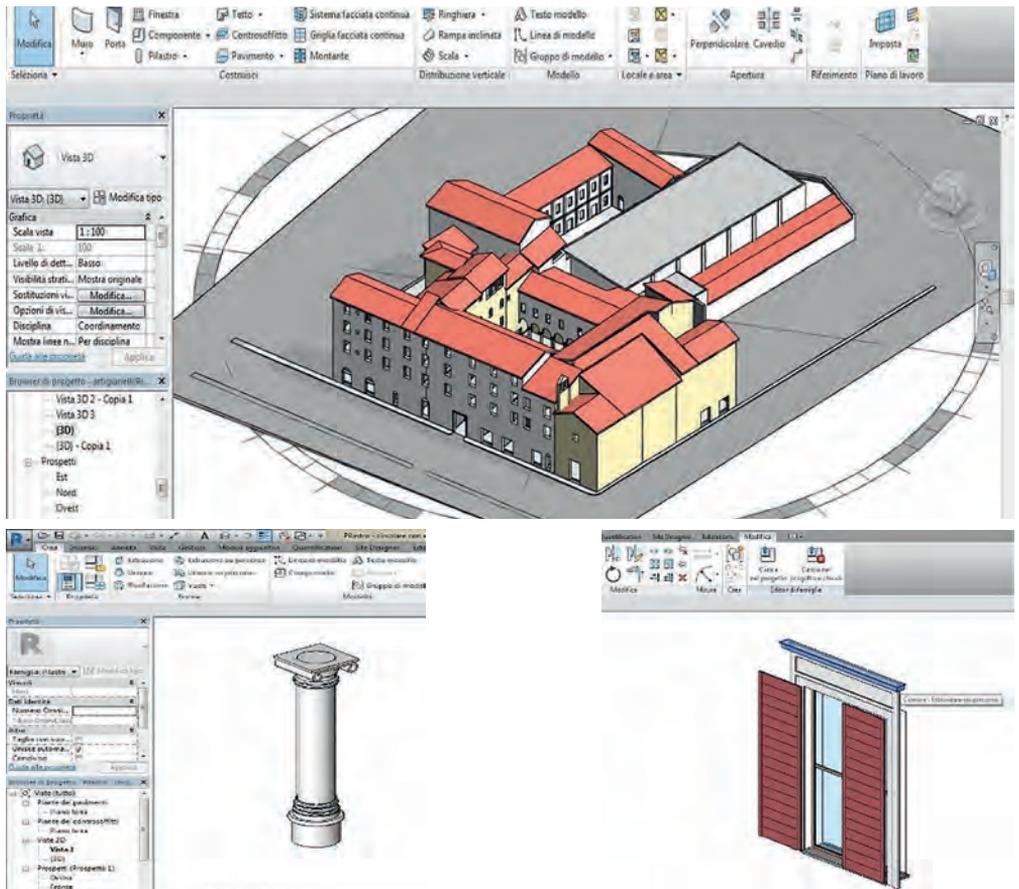


consistenti dei quali nel corso del Seicento. Nei primi anni del 1900 il complesso andò ad ospitare la scuola per bambini poveri e si intervenne con estese opere di ristrutturazione, finalizzate a rendere la struttura più consona al nuovo uso: furono create più di trenta piccole officine, e nel 1904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

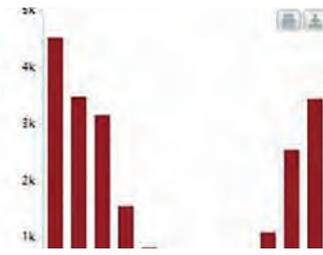
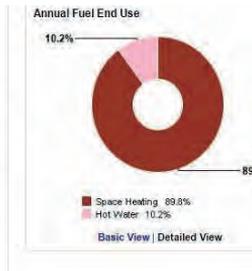
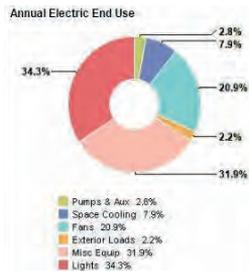
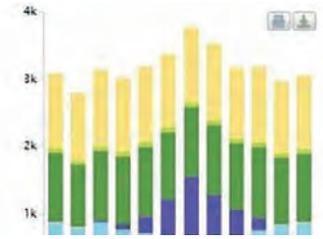
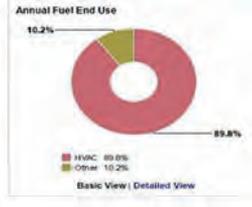
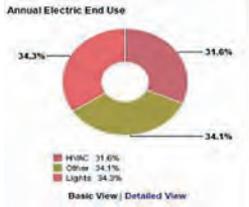
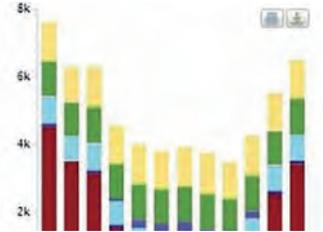
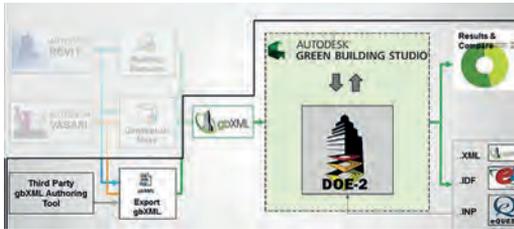
Analisi energetica

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'



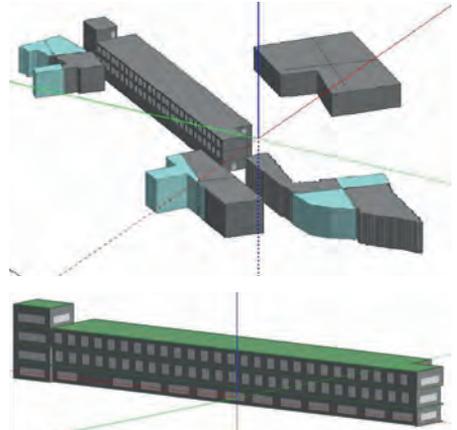
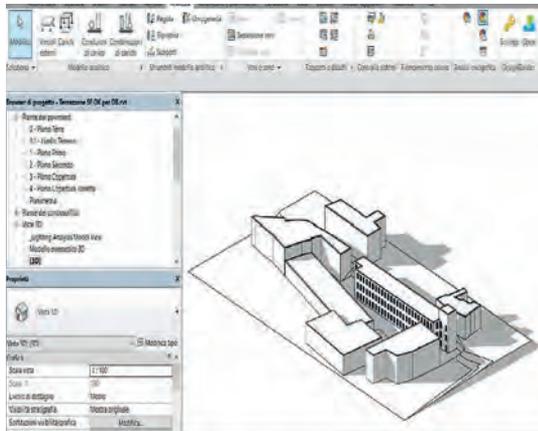
sotto a destra
vista del
complesso del
Lanificio, Piazza
superiore, la
parte retrostante
l'edificio
dell'Orologio e
l'ultimo piano
della fabbrica
Ricci con
copertura a volta



si estende per una superficie di 23.000 m² e un volume di 60.000 m³, 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

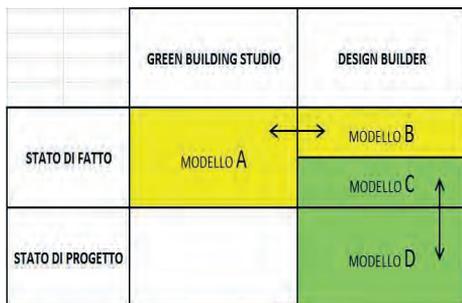
Design Builder, modello BIM di Revit importato con impostazione 'include shade surfaces'

Modellazione energetica e architettonico-tecnologica

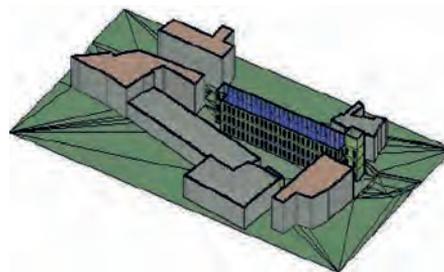
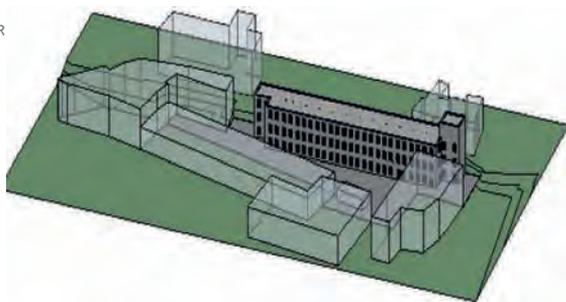
A partire dall'edificio reale, sono stati creati dei modelli energetici al fine di perseguire il duplice obiettivo di confrontare tra differenti tipologie di modellazione a partire dagli stessi dati di input (analisi in Green Building Studio a confronto con analisi in Design Builder), e riquilibrare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

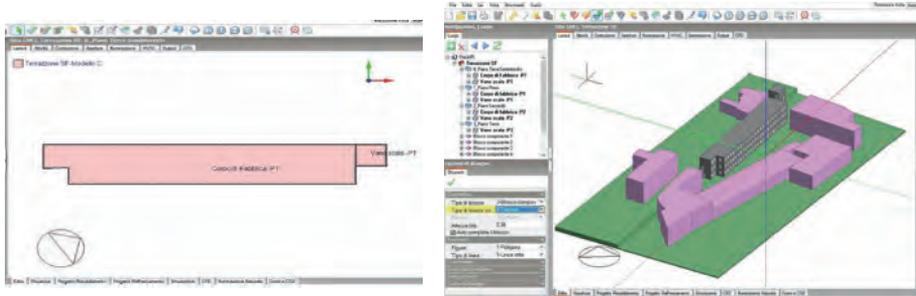
sopra a destra
terrazzone
con contesto
modellato
a masse
concettuali

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

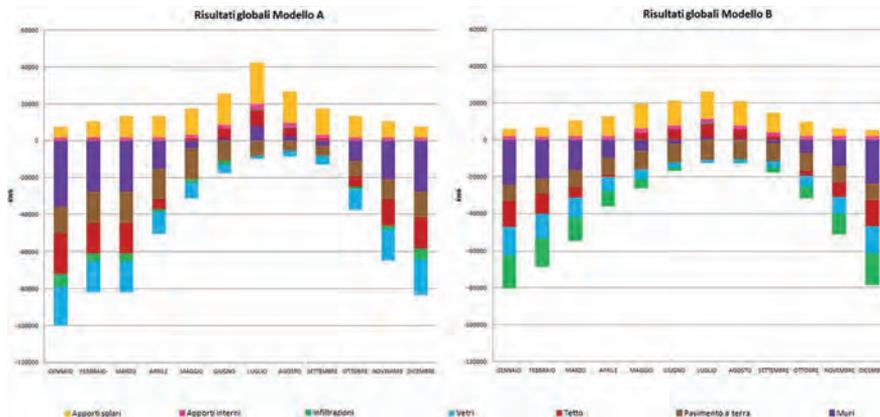
Dai risultati ottenuti con l'analisi energetica effettuata con G.B.S., si evince che la modellazione del contesto, sia a masse concettuali che ad elementi edilizi finiti, non è rilevante, perché i carichi termici risultano allineati; si nota comunque che, per quanto riguarda il carico di raffrescamento, 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.

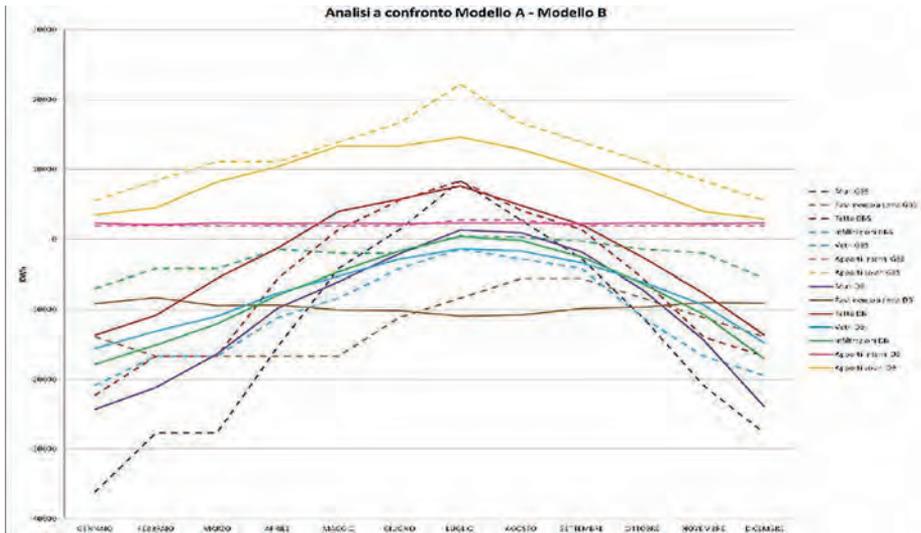
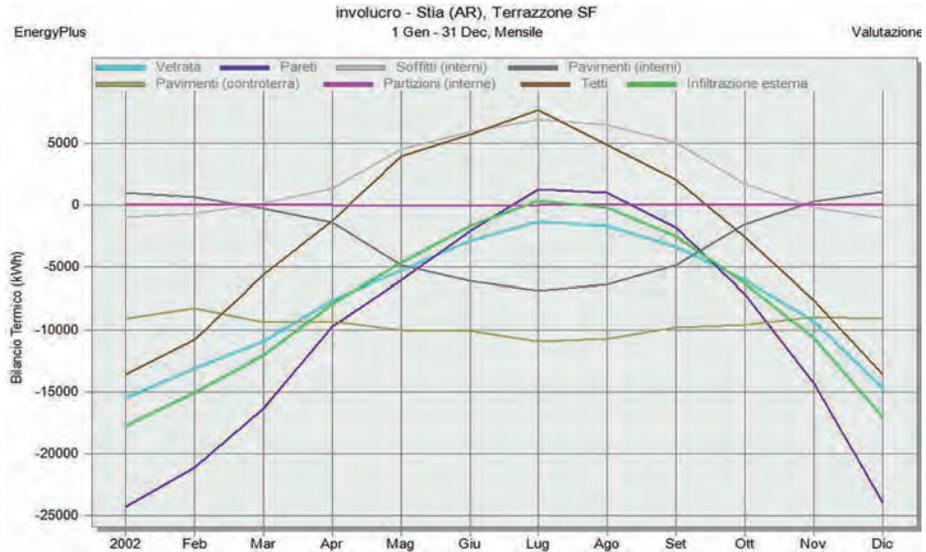
*pagina a fronte
sopra*
**analisi di
confronto tra
Modello A e
Modello B**

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 Bui-



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.

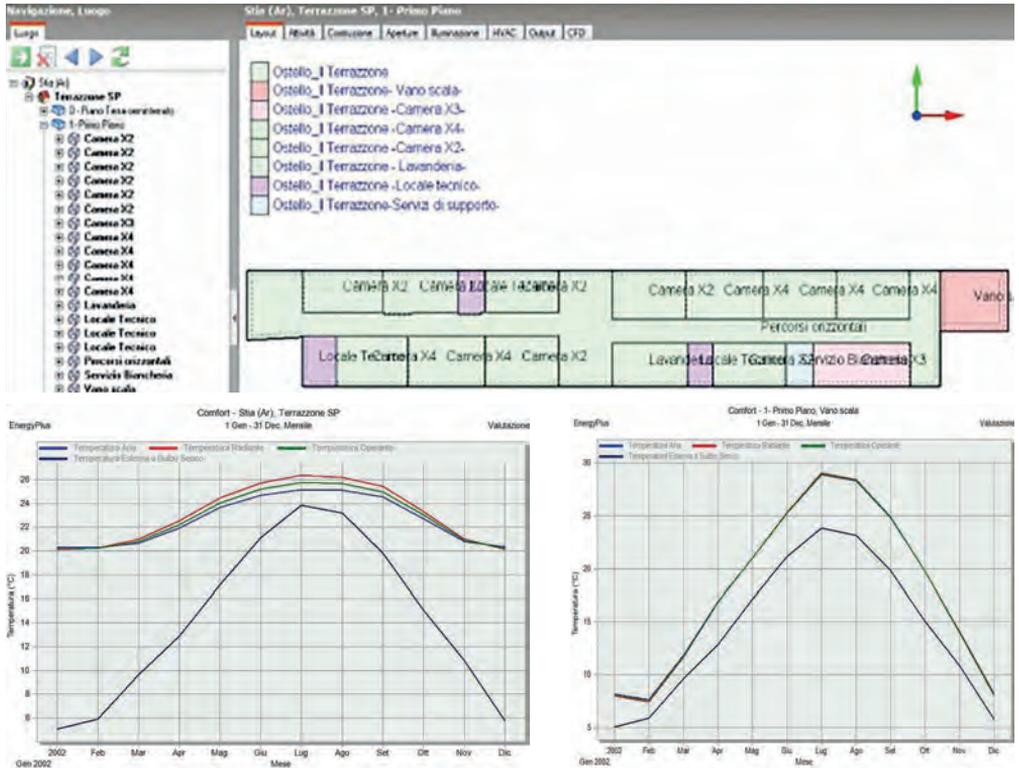
La riqualificazione energetica dell'involucro è stato realizzata con un isolamento termico in pannelli di fibra di legno, applicato sul fronte interno della muratura perimetrale, e la contestuale sostituzione degli infissi esistenti. E' stata parallelamente verificata l'assenza di condensa interstiziale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



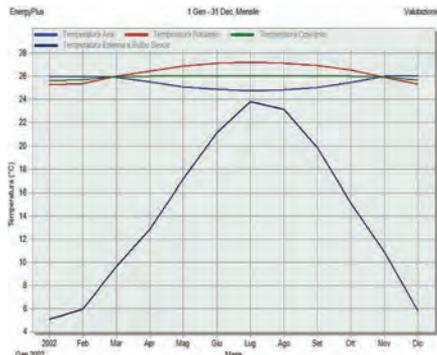
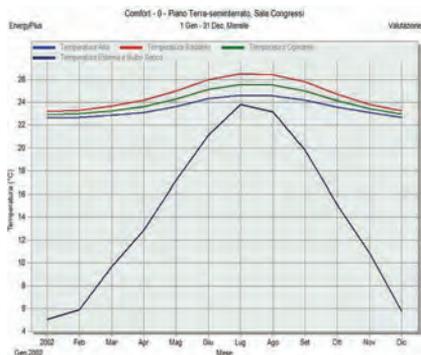
edificio un locale tecnico dove collocare il boiler per l'accumulo di ACS. Successivamente sono stati impostati i parametri del tetto verde 'estensivo leggero', che corrisponde a quello di progetto, nel Modello D in Design Builder. Sono stati poi definiti i valori di trasmissione solare, trasmissione 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.

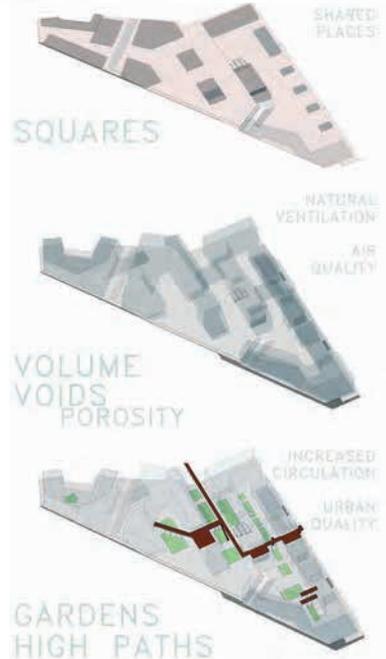
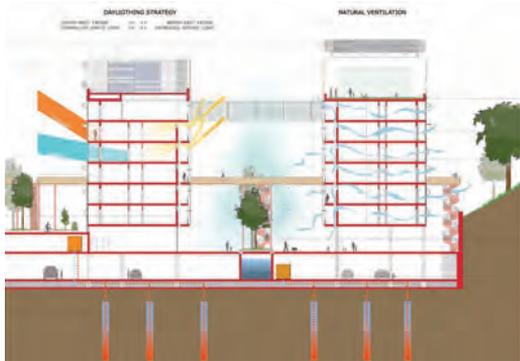
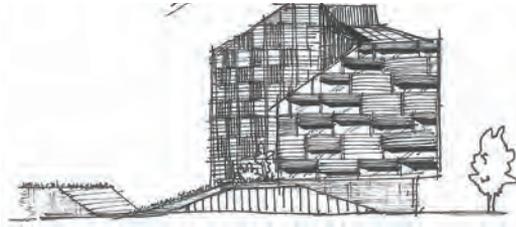
Lo studio si articola in quattro fasi:

- 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.**

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

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.

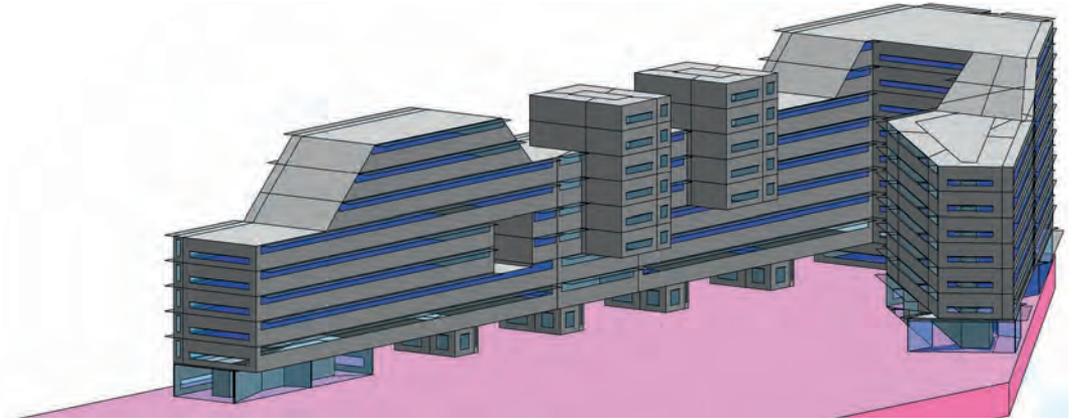
Attraverso lo studio del clima, si denota come il luogo di ubicazione del progetto possieda alti valori di umidità dell'aria; le temperature, influenzate dalle brezze marine, hanno valori medi tra i 9°C e i 25°C. All'interno del progetto, si è deciso di esaminarne un solo 'blocco' (con un'estensione 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.



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 CO₂ 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.

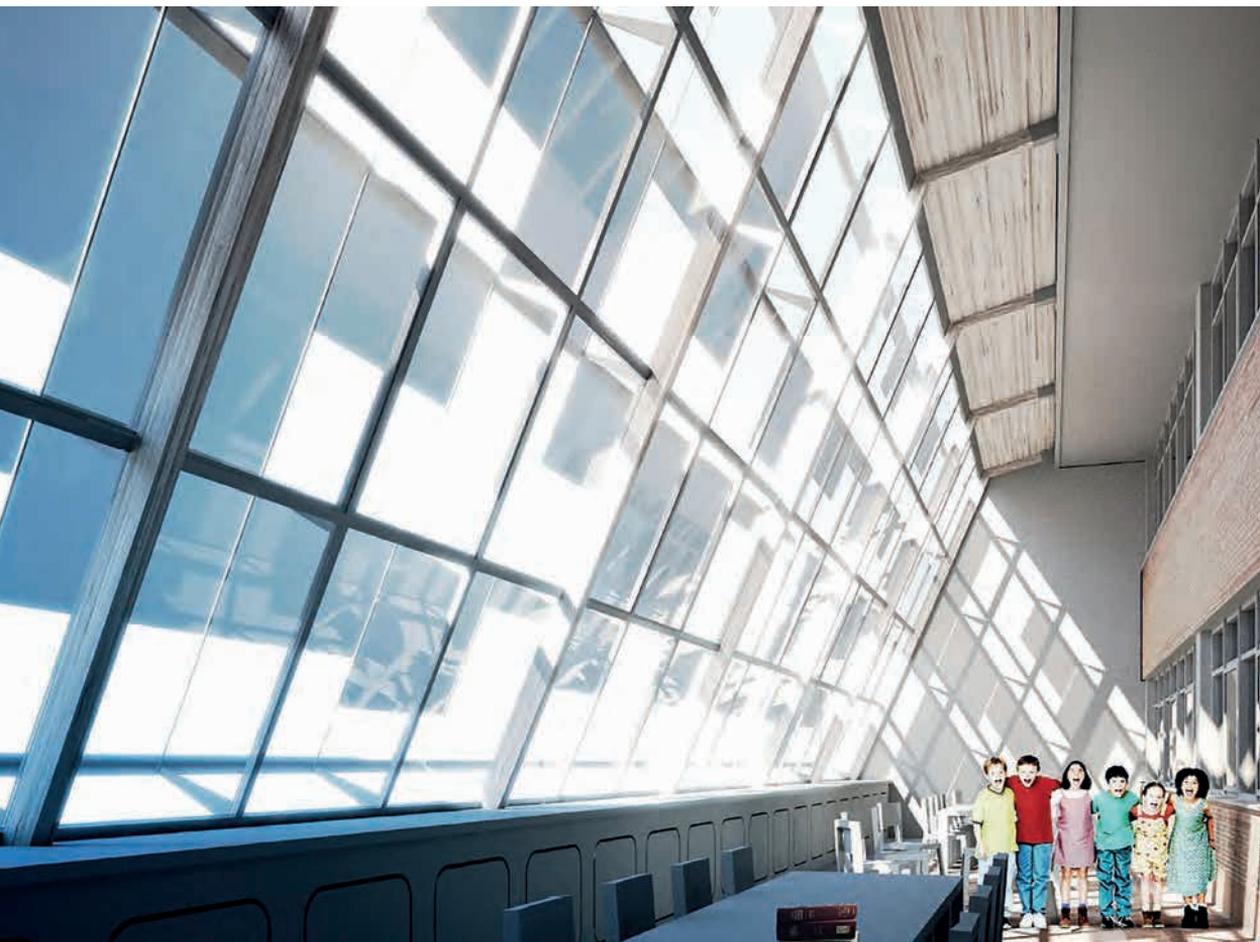
Gallo P. 2013, *Master course in architecture and environmental technologies A post graduated course for integrated education of architects in the use of environmental strategy in the project*, in *Architectural education and reality of the ideal: environmental design for innovation in the post-crisis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



**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

Lucia Ceccherini Nelli, Giada Gallo Afflitto

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.

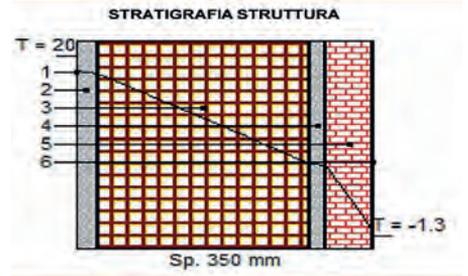
La palestra, di cui si riporta la foto in alto a sinistra, è oggi comunale e gestita da un ente, esterno alla Pubblica Amministrazione, che si occupa di lasciarlo in concessione per le attività sportive degli studenti.

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 ¹⁴ [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	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	Mattone 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 = 1,610 m²K/W				CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 49.521 kJ/m²K		TRASMITTANZA = 0,621 W/m²K		
SPESSORE = 350 mm				FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0,02		MASSA SUPERFICIALE = 914 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0,01 W/m²K						SFASAMENTO = 22,19 h		

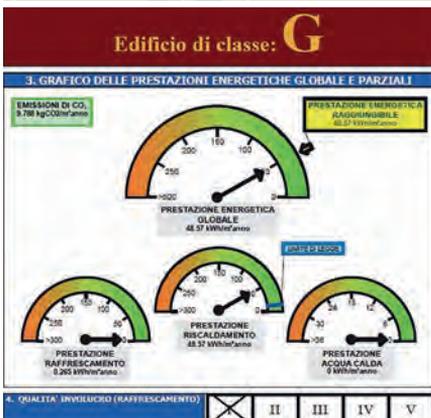
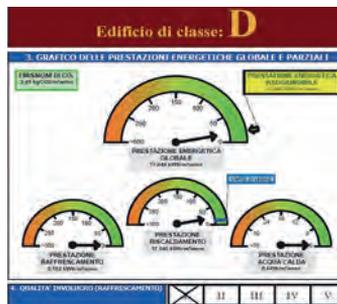
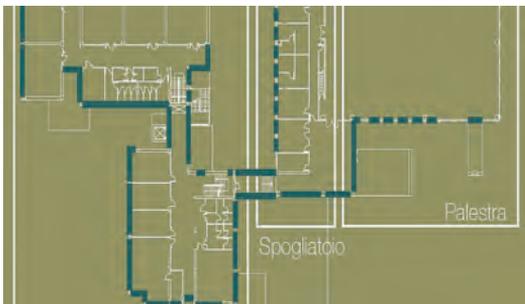
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50°10¹⁴ = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittezza = Valori di resistenza e trasmittezza 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



A+	< 4.233 kWh/m²/anno
A	< 7.461 kWh/m²/anno
B	< 11.024 kWh/m²/anno
C	< 14.922 kWh/m²/anno
D	< 18.485 kWh/m²/anno
E	< 25.275 kWh/m²/anno
F	< 35.028 kWh/m²/anno
G	≥ 35.028 kWh/m²/anno

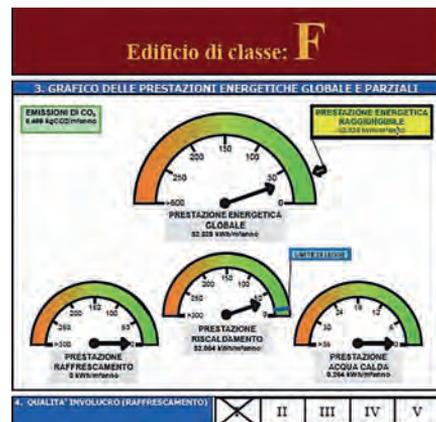
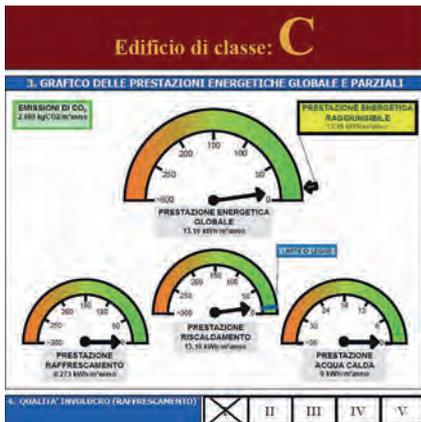
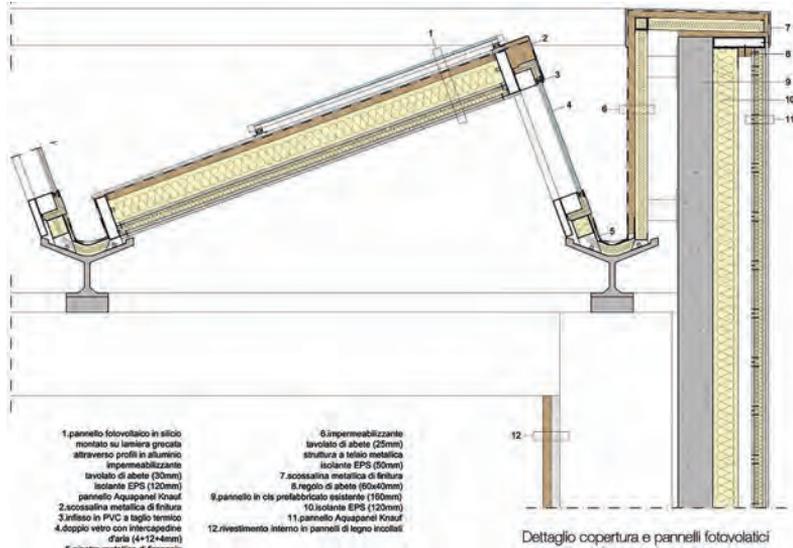
48.57 kWh/m²/anno

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.

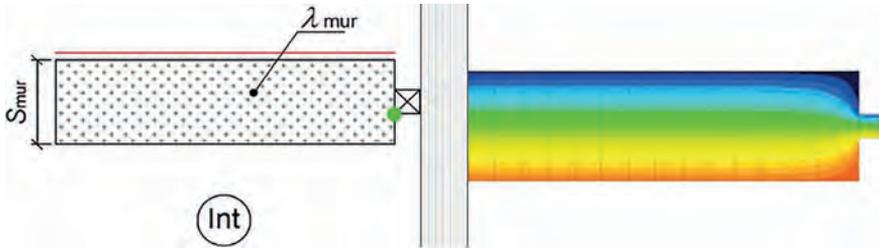
La diagnosi ha consentito di comprendere l'origine di parte dei consumi energetici, evidenziando non solo l'opportunità, ma anche la necessità inderogabile di attuare interventi di riqualificazione energetica dell'edificio.

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.

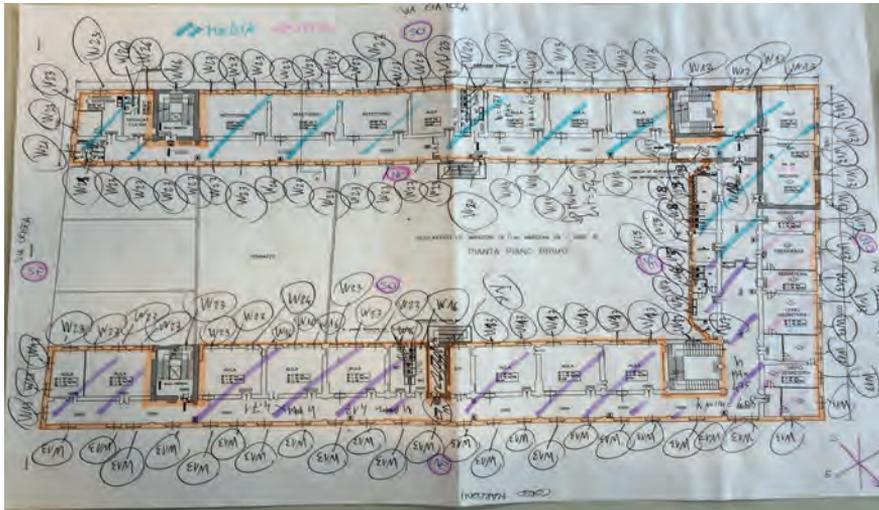
Modellazione e analisi dei consumi

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

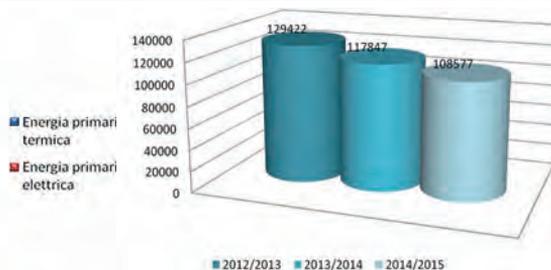
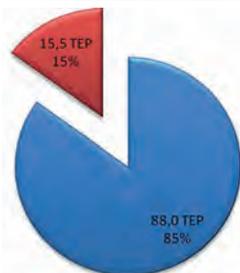


al centro schema di rilievo degli impianti



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

sotto a destra consumi termici normalizzati delle ultime tre stagioni termiche

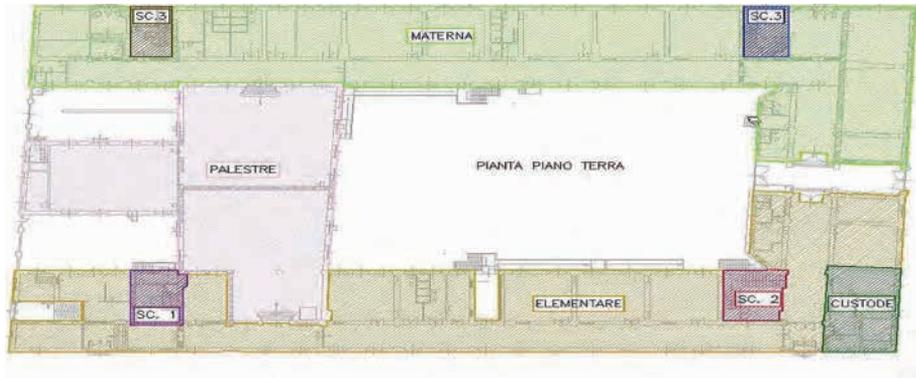


zione del regime normativo da utilizzare per le verifiche di legge e gli attestati energetici dell'edificio.

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.

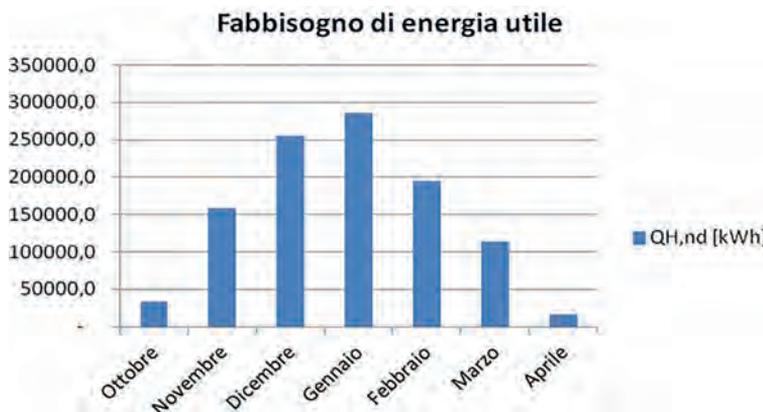
Definiti i dati geografici dell'immobile, si è passati poi ad effettuare un sopralluogo al fine di individuare le zone termiche (la Scuola e l'alloggio del custode).

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/m².

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

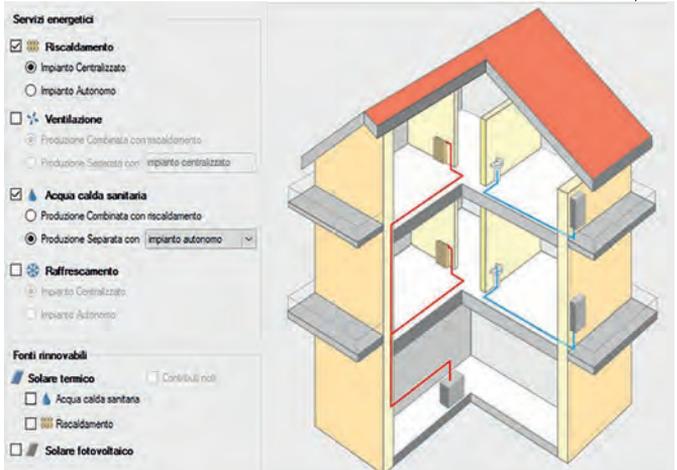
a destra
Consumi termici normalizzati delle ultime tre stagioni termiche

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° fabbrica	★		Pressione
Anno costruzione	1998		Temp. max
Rela. 230V 50Hz	Bollitore		Capacità
W			
Combustibile (solo quelli con XI)	Gas	Categoria	Legna
	XI	II2H3+	
POTENZE	min.	kW	max.
Utile	655+820		
Focolare	705+893		
Caldaia P.I.N.	0063AR3385		Sup. m²



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%.

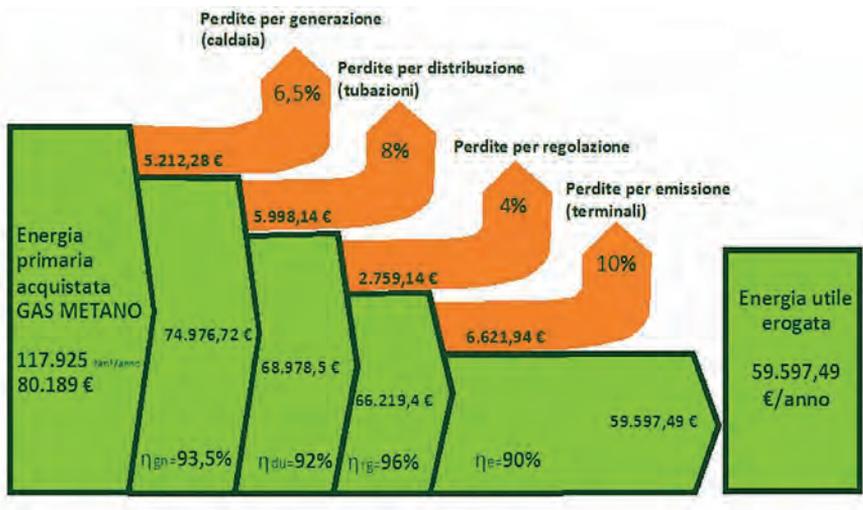
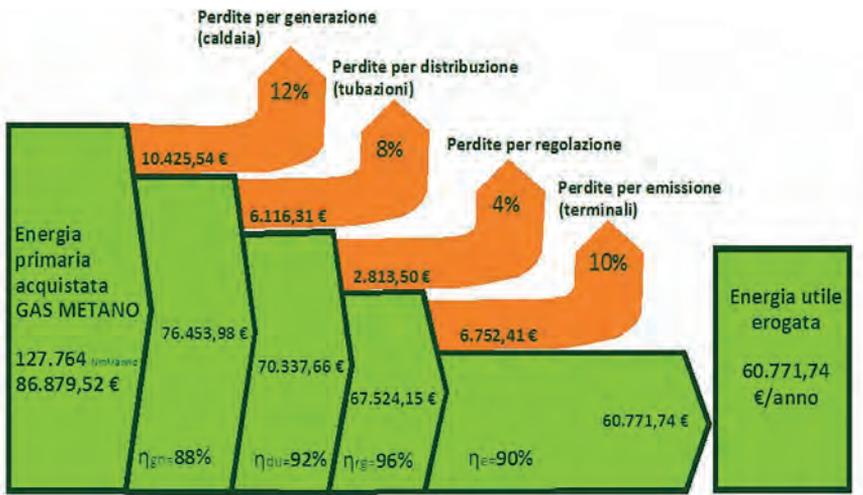
L'indice di prestazione energetica corrisponde all'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno. L'indice indica quanta energia venga consumata affinché l'edificio raggiunga le condizioni di comfort secondo i servizi energetici presi in considerazione dal 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

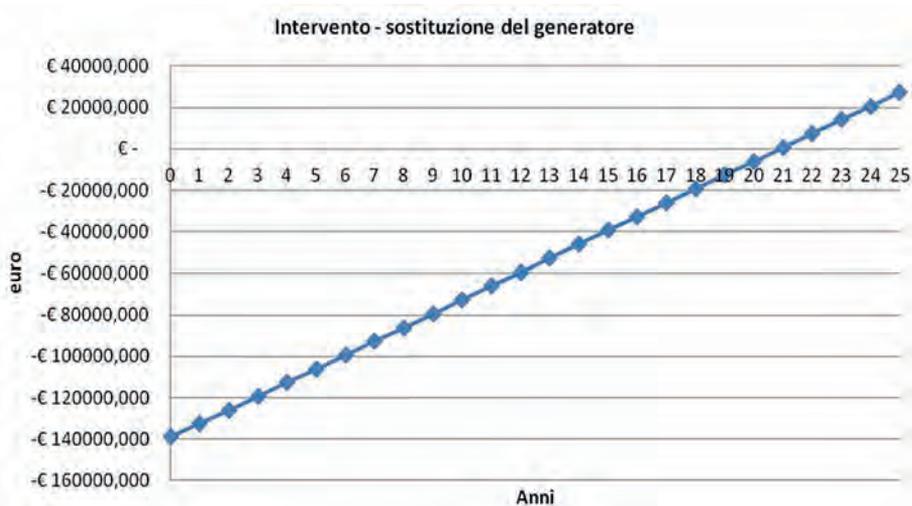


Grafico sul tempo di ritorno dell'investimento legato alla sostituzione del generatore

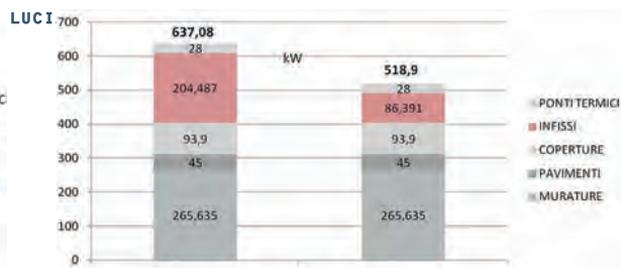
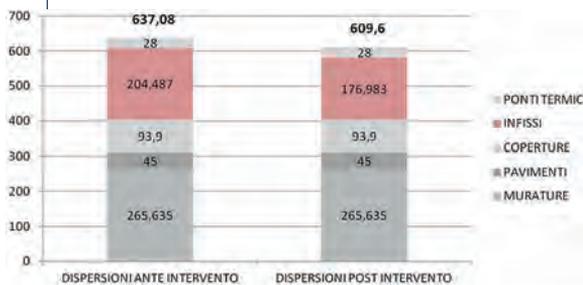
e di contabilizzatori di calore ai terminali di emissione, in modo da modulare la richiesta termica in base alle reali necessità. La motivazione per cui si è scelto di intervenire sul generatore è perché esso rappresenta l'elemento che ha maggiori perdite nel sistema impiantistico. Con la sostituzione 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/m²; 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.

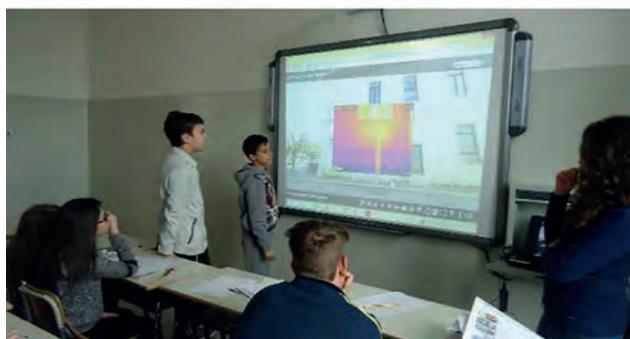
Attraverso l'isolamento interno delle pareti con pannelli in lana di roccia, (quello esterno è impossibilitato dal vincolo imposto dalla Soprintendenza), avremmo una riduzione del 32% delle dispersioni, con un tempo di ritorno dell'investimento pari a 18 anni, riducibile a 9 grazie agli incentivi. Infine è stata fatta una combinazione degli interventi sopraccitati, 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

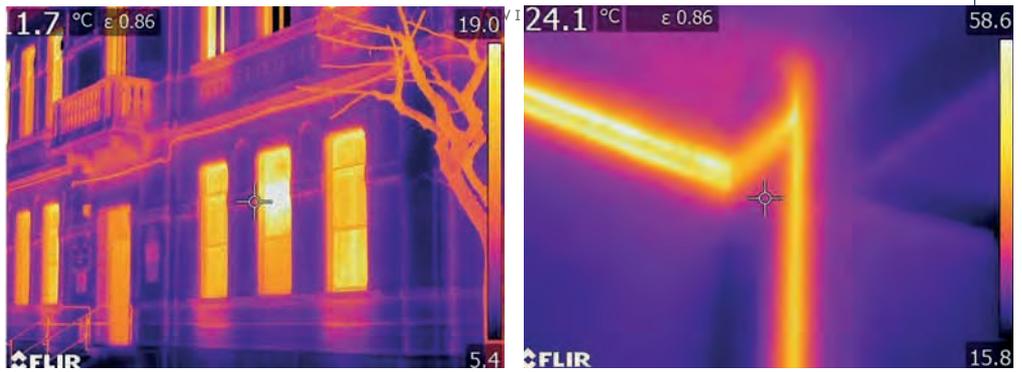
sopra a destra
Dettaglio parete
e solaio in
corrispondenza
dell'impianto di
riscaldamento

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

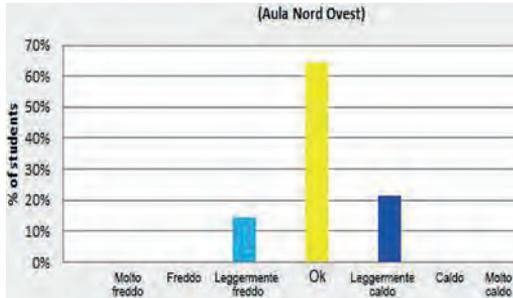
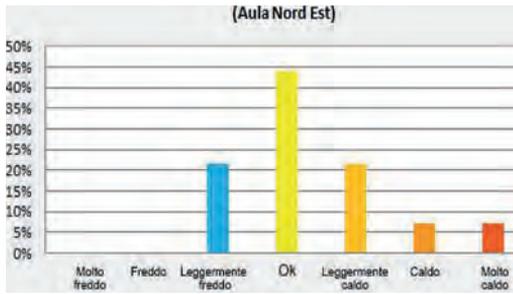
a destra
Immagine del laboratorio didattico sul comfort termico; 16. immagine del laboratorio didattico sul comfort termico

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, babbolite 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.

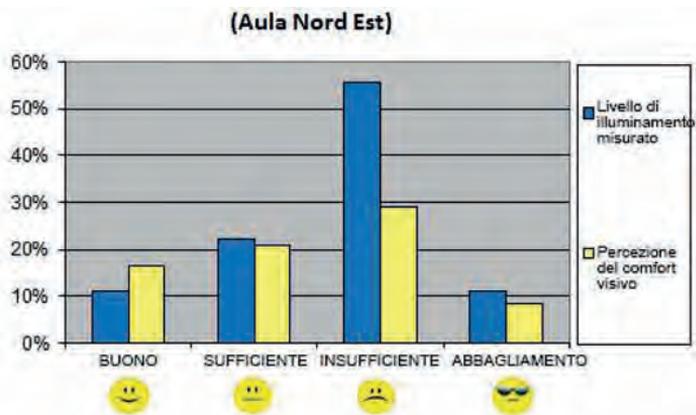
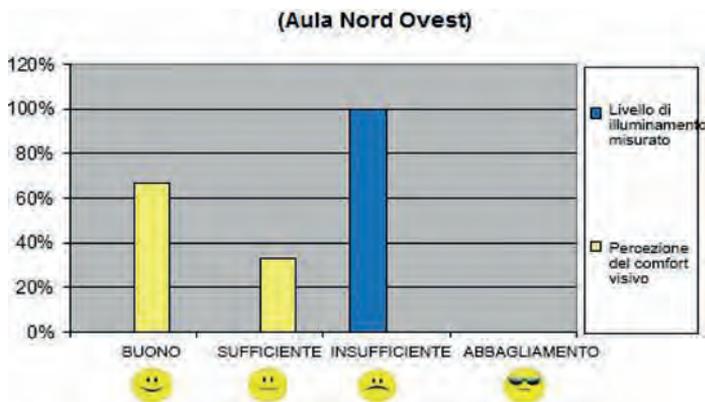
Anche in questo caso, le misurazioni strumentali sono state integrate all'interno di laboratori didattici dedicati al benessere visivo e all'efficienza energetica, che hanno consentito agli studenti di utilizzare direttamente gli strumenti di misura.

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.



RILIEVO ILLUMINOTECNICO
LUCE NATURALE

ESTERNO	A1	B1	C1
1350 lx	210	176	92
	A2	B2	C2
CATEDRA	525	179	102
125 lx	A3	B3	E3
LAVAGNA	155	174	78
93 lx			

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.

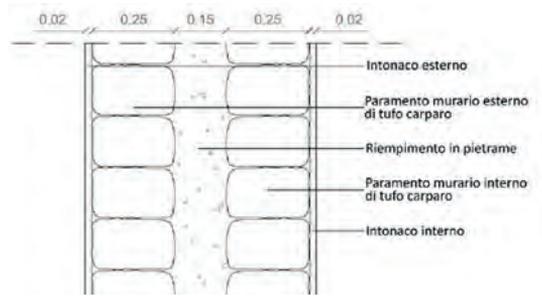
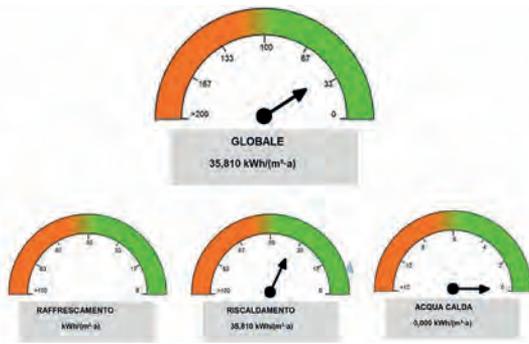
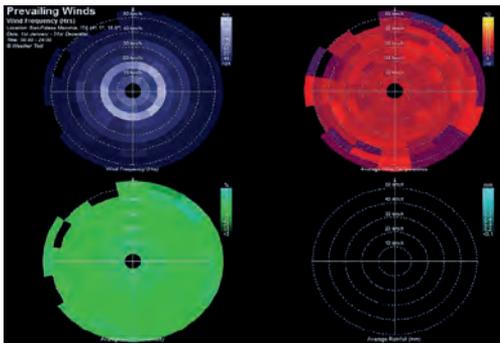
Sono state dunque individuate le stratigrafie dei componenti dell'involucro: chiusura verticale esterna, chiusura esterna sottofinestra, chiusura orizzontale di base e di copertura, e su di esse si è evidenziato che il confronto con il valore ottenuto dalla stratigrafia dell'edificio scolastico, supera 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**

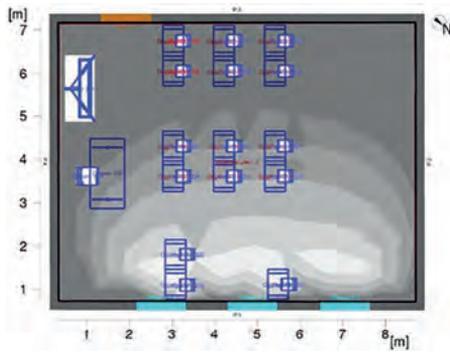
sotto a sinistra
**Modello
tridimensionale
realizzato in
Ecotect**

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/m³anno.

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

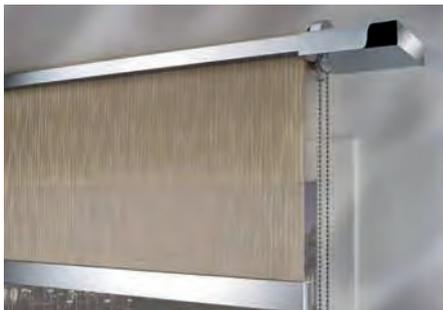
al centro a destra
Integrazione della fase preliminare di audit nel virtual tour

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 CO₂ 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.

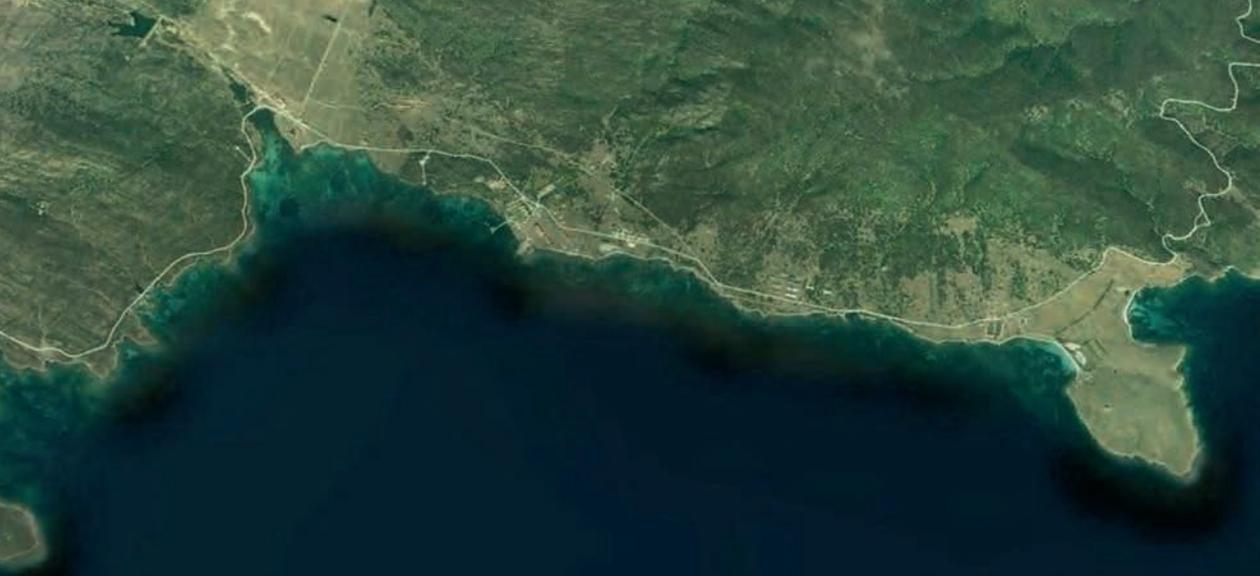
Bibliografia

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.

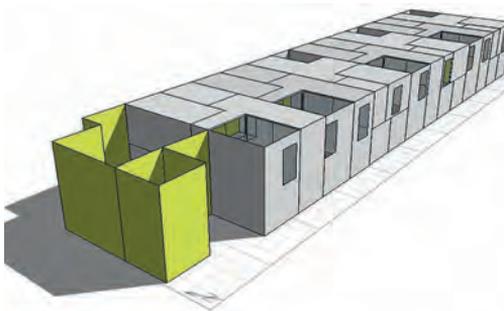
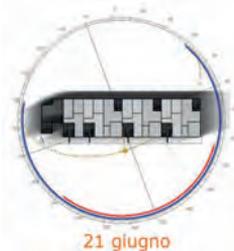
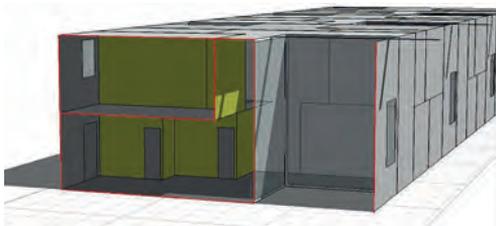
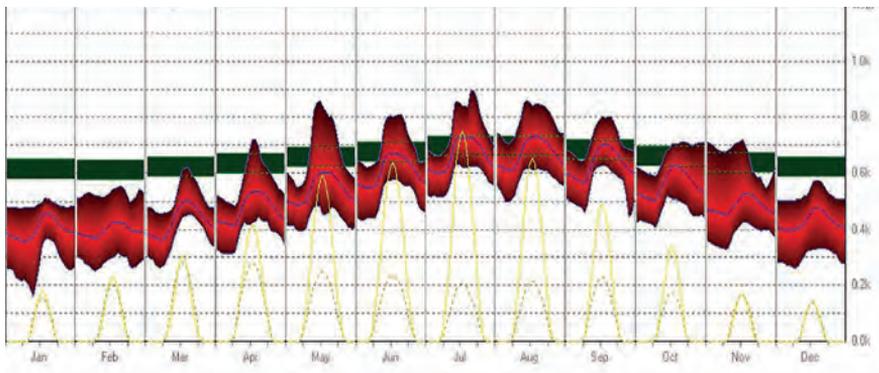
Nell'analisi del modello energetico è stato utilizzato il Software Ecotect, programma che si muove in regime semi-dinamico e che restituisce un'analisi molto dettagliata; ovviamente, per ottenere gli output richiesti, sono necessari molti dati di entrata, primo tra tutti il file climatico ma anche la 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

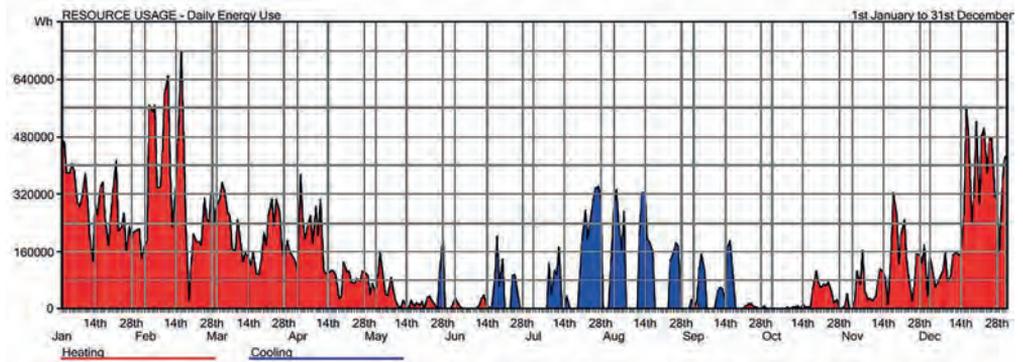


utilizzo dei locali, il tipo di climatizzazione ipotizzato e l'efficienza degli impianti. Tali parametri, ai fini dell'analisi del fabbisogno energetico dell'edificio, sono stati mantenuti costanti.

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



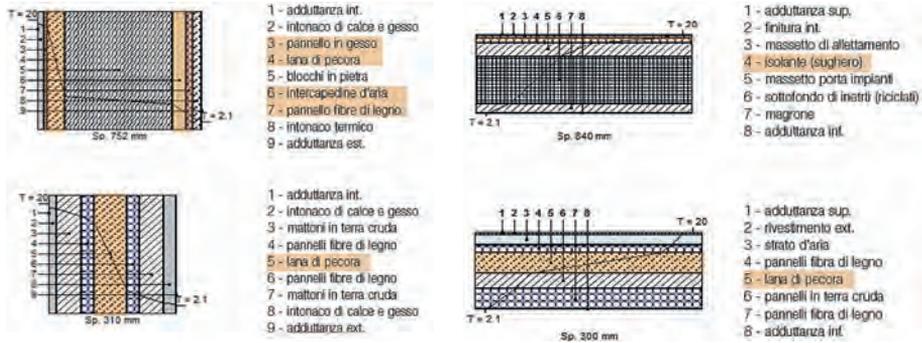
derando i sette appartamenti indipendenti l'uno dall'altro dal punto di vista termico. Per questo sono state costruite sette distinte zone termiche. Una volta definita la 'scatola' dell'edificio, sono state inserite le aperture verso l'esterno e quelle di collegamento tra gli ambienti interni. La copertura 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.



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.

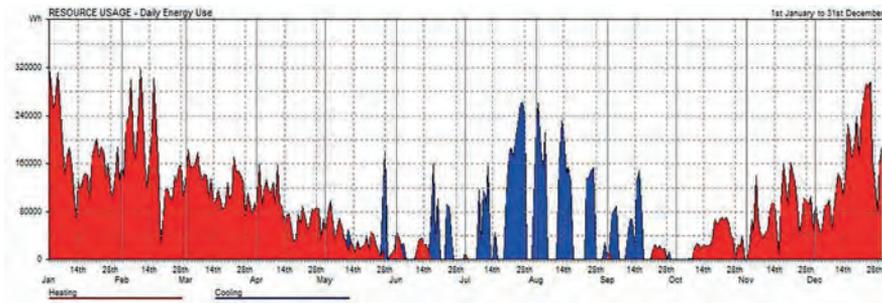
Il terzo scenario propone soluzioni ancora più performanti, inferiori a quelli imposti dalla normativa, con lo scopo di valutare quanto influiscano tali decisioni progettuali sul fabbisogno dell'edificio.

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 31 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.

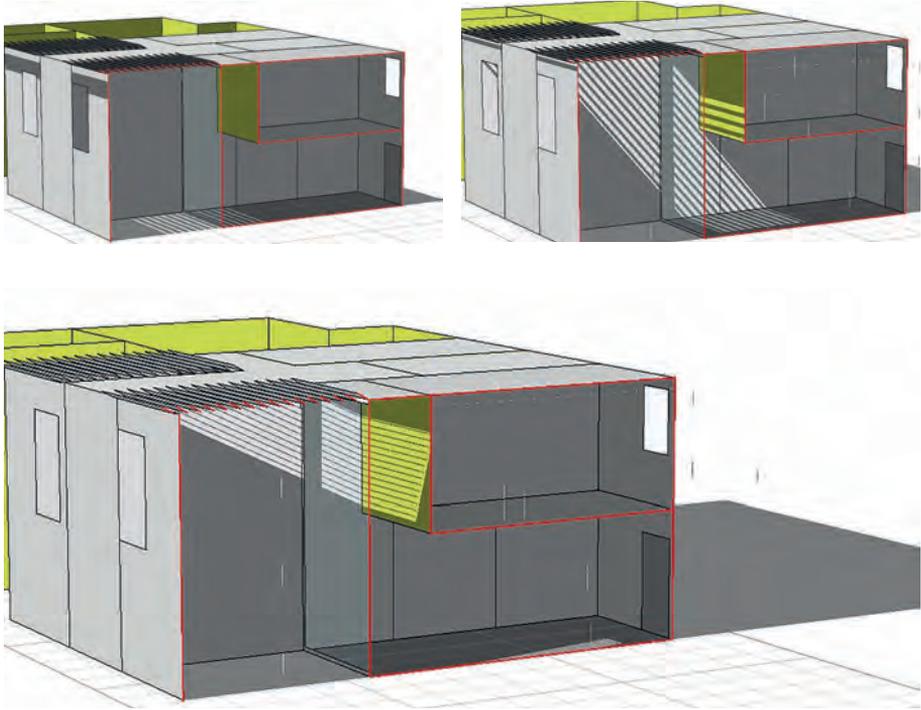
Comparando il valore di trasmittanza di questa soluzione con quello dello scenario precedente, si nota una notevole riduzione, passando infatti da una $U=0,306$ ad una $U=0,117$. Infine, per questo terzo e ultimo scenario, sono stati scelti infissi ancora più performanti, con $U_w = 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. 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.



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 termoigrometrico 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. Le tesi sono state scelte per la loro alta valenza nel dare un contributo reale alla ricerca condotta in questi anni nel settore della sostenibilità energetico-ambientale dai ricercatori del Centro ABITA, che da anni collaborano all'attività scientifica del prof. Marco Sala, indagando i vari settori dell'Architettura Bioecologica e dell'Innovazione Tecnologica per l'Ambiente costruito. 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 INSERI



9 788833 380100

€ 00,00