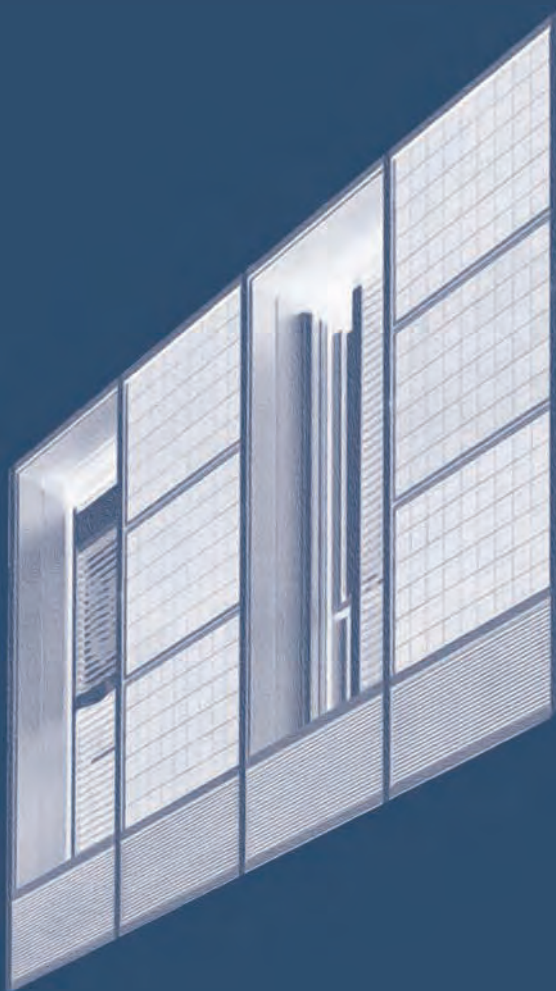


LUCIA CECCHERINI NELLI

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

Esperienze di progettazione ambientale





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.



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 Politécnica 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 Politécnica 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 Prosperi, 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. Sojarić, 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

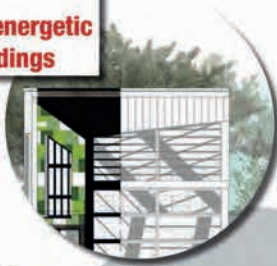
ELEMENTAL
CHLORINE
FREE
GUARANTEED



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

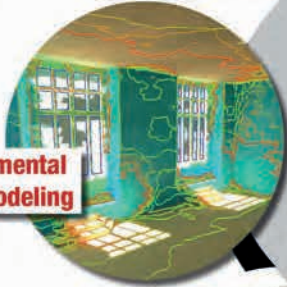
**M1-Sustainable
architecture and energetic
renovation of buildings**



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



**M3-Environmental
energetic modeling**



**Master Structure
Modules**



**ML-Vocational project
work**

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





**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.



DIAGNOSI ENERGETICHE. TRE SCUOLE DEL COMUNE DI FIRENZE

Lucia Ceccherini Nelli, Alessandra Donato



sopra a
sinistra
indagine
termografica
relativa
al piano
terra, lato
strada, della
palestra San
Niccolò a
Firenze

sopra a
destra
giardino
della scuola
di Primo
Grado G.
Verdi

sotto
facciata
principale
dell'istituto
scolastico
'Scuola
Secondaria
di primo
Grado G.
Carducci'

Il percorso di alta formazione proposto dall'Università di Firenze, nell'ambito del Master di II livello Abita, si configura come anello di congiunzione tra il sistema accademico e il mercato del lavoro che, sempre con maggiore incidenza, si proietta verso la ricerca di professionalità specialistiche, altamente qualificate e dotate di competenze trasversali nonché trasferibili; tali risorse devono essere in grado di rispondere, efficacemente e velocemente, sia alle mutevoli condizioni del mercato, che alla crescita economica e sostenibile del settore delle costruzioni. Negli ultimi anni, il mercato dell'energia, coerentemente agli indirizzi e alle politiche strategiche dell'UE, si è evoluto verso la promozione dell'efficienza energetica, quale driver fondamentale per aumentare la competitività del settore produttivo, attraverso una gestione intelligente e razionale dei servizi energetici, l'ottimizzazione dei processi produttivi (al fine di migliorare la qualità produttiva degli impianti), e la riduzione di sprechi e di emissioni di gas climalteranti. D'altra parte, tale esigenza è riconosciuta prioritaria anche nel settore delle costruzioni, coinvolgendo tutti gli attori della filiera.

Sulla base delle rapide trasformazioni che investono in modo sempre più tumultuoso il settore dell'energia, sia l'assenza di operatori qualificati con adeguate competenze nel settore dell'energia, che la complessità dei meccanismi per accedere a contributi, incentivi (e altre forme di finanziamento previste per le imprese e per le PP.AA.), costituiscono i principali ostacoli alla diffusione delle buone pratiche di efficienza energetica.

In Italia, l'unica figura professionale responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia fu introdotta, per la prima volta, dalla legge 10/91; tale figura, meglio identificata con il termine di 'Energy Manager', aveva il compito di promuovere il controllo dei consumi e la diffusione di buone pratiche di efficientamento energetico presso quei i soggetti, pubblici e privati, caratterizzati da consumi di grande entità.

Negli ultimi anni, a tale figura si è accostata quella di Esperto in gestione dell'energia (EGE), una nuova figura professionale interdisciplinare, che agisce nel contesto del nuovo mercato europeo dell'energia, interpretando al meglio i cambiamenti del settore energetico.

La figura dell'EGE, introdotta per la prima volta dal D. Lgs. 115/2008, pur mostrando del-

le affinità con il ruolo attribuito all'Energy Manager, si distingue da quest'ultimo sia per la capacità di coniugare conoscenze, capacità ed esperienze nel campo energetico ed ambientale, che per competenze gestionali, economico-finanziarie e di comunicazione, orientate più verso il mondo dei servizi energetici che verso quelle delle aziende.

Tali capacità possono essere sviluppate attraverso un percorso formativo adeguato e, soprattutto, mediante un'adeguata esperienza sul campo.¹

Le figure dell'Energy Manager (ai sensi della Legge 10/91), e quella dell'Esperto in Gestione (ai sensi del D.Lgs. 115/08), non è detto che debbano necessariamente coincidere; si possono dunque verificare i seguenti casi:

1. un energy manager può essere al contempo un EGE. Questa condizione è da preferirsi alle altre poiché un energy manager dovrebbe poter soddisfare quanto richiesto dalla norma UNI CEI 11339, indipendentemente dal fatto che intenda ottenere la certificazione o meno. In alcuni casi, in particolare nelle grandi realtà aziendali, al fine di distribuire diverse responsabilità a più soggetti, è auspicabile che le due figure siano ricoperte da persone diverse;
2. un energy manager non può essere contemporaneamente un EGE. Un energy manager può essere nominato indipendentemente dal fatto che abbia o meno le caratteristiche previste dal D.Lgs. 115/08 e dalla norma UNI CEI 11339;
3. un EGE può non essere un energy manager, poiché i requisiti per la certificazione e l'accreditamento, previsti dalla norma UNI CEI 11339 del 2009 e posseduti dal soggetto EGE, non richiedono necessariamente una nomina per rivestire il ruolo di energy manager.

Di seguito si riportano i principali provvedimenti normativi collegati alla figura dell'esperto in gestione dell'energia (EGE):

- Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115: Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia, servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.
- Norma UNI CEI 11339: Gestione dell'energia. Esperti in gestione dell'energia. Requisiti generali per la qualificazione.
- Decreto MATTM 7 marzo 2012: Adozione dei criteri ambientali minimi da inserire nei bandi di gara della Pubblica Amministrazione per l'acquisto di servizi energetici per gli edifici - servizio di illuminazione e forza motrice-servizio di riscaldamento/raffrescamento.

¹ La norma UNI-CEI 11339:2009, "Gestione dell'energia. Esperti in gestione dell'energia. Requisiti generali per la qualificazione" stabilisce i requisiti e il percorso per ottenere la qualifica di Esperto in Gestione dell'Energia certificata da parte di organismi accreditati.

- Legge 14 gennaio 2013 n. 4: Disposizioni in materia di professioni non organizzate.
- Decreto legislativo 4 luglio 2014 n. 102: Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- Decreto interdirettoriale 12 maggio 2015: Approvazione degli schemi di certificazione e accreditamento per la conformità alle norme tecniche in materia di ESCO, esperti in gestione dell'energia e sistemi di gestione dell'energia, ai sensi dell'articolo 12, comma 1 del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 e relativo schema di certificazione per la conformità alla norma UNI CEI 11339.
- D.M. 11 gennaio 2017: Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e il gas per gli anni dal 2017 al 2020 e per l'approvazione delle nuove Linee Guida per la preparazione, l'esecuzione e la valutazione dei progetti di efficienza energetica.

A partire dall'analisi di questo scenario, il mercato dell'energia offre nuove opportunità di lavoro per tutti i professionisti che si occupano di efficienza energetica, nonché di gestione e controllo dei Sistemi Energetici per la produzione di beni e/o servizi.

Dal punto di vista normativo, l'articolo 8 del D.Lgs. 102/14 stabilisce che gli EGE sono tra i soggetti titolati a condurre diagnosi energetiche presso le grandi imprese, ed in particolare per le imprese cosiddette energivore; a partire dal 19 luglio 2016 però, gli EGE che intenderanno condurre tali diagnosi dovranno essere obbligatoriamente certificati dagli enti preposti.

Per venire incontro alla crescente domanda di figure qualificate con competenze così specifiche, nell'ultimo anno, la nuova proposta formativa del Master ABITA è stata ulteriormente integrata attraverso l'introduzione, all'interno del modulo dedicato alla Progettazione integrata di sistemi per edifici ad energia quasi zero, di un percorso di studio in ESPERTO IN GESTIONE DELL'ENERGIA-EGE. Tale percorso è in grado di fornire una preparazione propedeutica al sostenimento dell'esame di certificazione² della qualifica EGE, ai sensi della norma UNI CEI 11339:2009, per i settori civile e industriale.³

² La certificazione della professione può essere rilasciata solo ed esclusivamente da un Ente o un Organismo che opera secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17024 "Requisiti generali per gli organismi che eseguono la certificazione delle persone". La certificazione EGE non è collegata alla partecipazione ad uno specifico corso di formazione, che è comunque fondamentale ai fini della qualificazione professionale e del proprio curriculum, ma viene conseguita superando un esame specifico che consente di essere inseriti negli albi degli EGE.

³ La norma per la figura dell'EGE individua due profili professionali:

- civile, con competenze specifiche nei settori civile, terziario e della pubblica amministrazione (edilizia pubblica e privata, insediamenti urbanistici, infrastrutture, trasporti civili);
- industriale, con competenze finalizzate prevalentemente a soddisfare le esigenze di processo nei settori industriali e produttivi (sistemi produttivi, produzione e distribuzione di energia, acqua, gas, trasporti industriali).

Infatti, sulla base dell'esperienza lavorativa, l'EGE può essere certificato in accordo a due settori di competenza:

- Esperto Gestione Energia settore industriale: attività nei processi e nei sistemi produttivi, distribuzione e produzione di energia, acqua, gas, sistemi di trasporto (ove applicabili);
- Esperto Gestione Energia settore civile: attività relative ad impianti, sistemi di servizi, infrastrutture, logistica, e commercio nelle applicazioni civili, nell'edilizia pubblica e privata.

Le diagnosi energetiche, condotte nel settore civile, indagano sul comportamento energetico del sistema edificio-impianto, sulle caratteristiche prestazionali dell'involucro e degli impianti, e sono finalizzate sia alla riduzione dei consumi riconducibili a tutti i servizi energetici, che al conseguimento del comfort indoor. Nelle diagnosi energetiche, riferibili al settore industriale, le componenti edilizie ed impiantistiche possono avere una rilevanza inferiore rispetto all'analisi dei cicli produttivi, in un'ottica di efficientamento energetico dei processi industriali presso l'impresa oggetto di audit.

Una diagnosi energetica, per essere valida, deve essere condotta in conformità ai criteri minimi per gli audit energetici, riportati all'Allegato 2 del D.Lgs. 102/2014.⁴

A partire dal 19 luglio 2016 le diagnosi energetiche devono obbligatoriamente essere svolte da ESCo, EGE (Esperto in Gestione dell'Energia), auditor energetici certificati e Auditor energetici certificati secondo norma tecnica.

La Direttiva europea 2012/27/UE definisce la diagnosi energetica come 'una procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati'.

La diagnosi energetica permette di ottenere una conoscenza approfondita del comportamento e del consumo energetico del sistema edificio-impianto in esame, quindi determina la consapevolezza del progettista sullo 'stato energetico', al fine di individuare le modifiche più efficaci per migliorare tale comportamento. Rappresenta inoltre la condizione necessaria per realizzare un percorso di riduzione dei consumi di energia negli usi fi-

⁴ I criteri minimi di una diagnosi energetica:

a) dati sul consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili (per l'energia elettrica) e sui profili di carico;
 b) profilo di consumo energetico di edifici, di attività o impianti industriali, con il trasporto;
 c) analisi del costo del CLA, analisi dei costi anche a lungo termine;
 d) dati necessari per realizzare un quadro fedele della prestazione energetica globale e individuazione degli interventi per il miglioramento.



Schema illustrativo del processo di diagnosi energetica suddiviso in fasi

nali, attraverso l'individuazione delle attività a più bassa efficienza energetica, e la valutazione dei possibili margini di risparmio conseguibili.

Le fasi che si distinguono durante lo svolgimento di una diagnosi energetica sono sei:

1. rilievo ed analisi di dati relativi al sistema fabbricato-impianto in condizioni di esercizio (dati geometrici-dimensionali, termo-fisici dei componenti dell'involucro edilizio, prestazioni del sistema impiantistico, ecc.);
2. reperimento dei dati sui profili dei consumi di energia (analisi e valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio);
3. individuazione delle misure da adottare per il contenimento dei consumi;
4. valutazione dell'analisi costi/benefici;
5. fase di sviluppo della pianificazione economica degli interventi e pay back time;
6. attività di verifica e report della diagnosi.

La finalità dello studio di fattibilità è quello di valutare, sotto il profilo costi-benefici, i possibili interventi in analisi quantificando, economicamente, il risparmio ottenibile mediante i diversi interventi, sia in termini di risparmio gestionale, che di consumo di energia primaria. A partire dalla fase di definizione degli obiettivi della diagnosi energetica, i gruppi di lavoro degli allievi, coinvolti nell'attività di diagnosi, si sono posti i seguenti obiettivi:

- analizzare la configurazione attuale e lo stato dell'impianto, individuando possibili miglioramenti o criticità nella componentistica e nella configurazione attuale;
- definire il bilancio energetico del sistema fabbricato-impianto;
- definire un indicatore di congruità fra i consumi effettivi, ricavati dalle ultime fatture, e i consumi attesi, calcolati con opportuni fattori di aggiustamento a partire dalle condizioni standard;
- valutare, in termini energetici, le variazioni conseguenti all'adozione delle diverse soluzioni proposte;

- valutare, in termini economici di investimento iniziale e costi di gestione, le diverse soluzioni proposte, anche in riferimento ad incentivi fiscali disponibili;
- proporre ulteriori miglioramenti, di tipo gestionale, rispetto alla soluzione attuale.

Tali obiettivi sono raggiungibili attraverso la razionalizzazione dei flussi energetici, il recupero delle energie disperse, l'individuazione di tecnologie di risparmio delle risorse, l'ottimizzazione dei contratti di fornitura energetica, la gestione dei rischi tecnici ed economici, e infine il miglioramento delle modalità di conduzione e manutenzione degli impianti.

La fase di sopralluogo è stata preceduta da una fase di raccolta delle informazioni che sono state fornite direttamente dall'ufficio tecnico del Comune, durante un incontro preliminare in aula in presenza degli allievi. Tale fase preliminare, includente la raccolta dei consumi energetici reali (termici ed elettrici), riferiti agli storici delle bollette dell'ultimo triennio, è stata utile all'elaborazione del bilancio energetico; sulla base del quale sono state svolte le simulazioni miglioranti le prestazioni dell'edificio.

Il sopralluogo assume molteplici funzioni:

- confrontarsi direttamente con il committente, o con la struttura alla quale sono affidate la gestione e la manutenzione degli impianti, per chiedere integrazioni alla documentazione fornita in prima battuta;
- prendere visione dei componenti e dei sistemi edilizi individuando le aree di inefficienza sulle quali intervenire e verificare, in prima approssimazione, quali azioni di miglioramento possono essere attuate e se esistono eventuali vincoli tecnici;
- eseguire indagini strumentali utili a determinare le caratteristiche termofisiche dei componenti di involucro (superfici trasparenti, copertura, solai);
- rilevare le caratteristiche degli impianti di condizionamento (estivo ed invernale), di ventilazione, di illuminazione e la presenza di eventuali apparecchiature ad uso elettrico (computer, stampanti, fax, ecc);
- prendere nota delle modalità gestionali degli impianti, degli orari di funzionamento e dei profili di utenza.

Una volta raccolti questi dati, si è passati all'elaborazione, in forma di report sintetico individuante le pecche dei sistemi gestionali ed impiantistici, una lista dei possibili interventi di efficientamento prestazionale e infine, al cune indicazioni sull'opportunità di approfondire ulteriormente le diagnosi energetiche degli edifici in esame.

Per contribuire ad una maggiore sostenibilità dell'edificio, l'audit si deve prefiggere sia l'obiettivo di ridurre i consumi, che di contribuire al miglioramento globale dell'edificio, anche dal punto di vista della sostenibilità.

A livello metodologico, sarà necessario redigere ulteriori schede interventuali di retrofitting che concorreranno alla riduzione dei consumi, tali indicazioni potranno essere fornite tramite indicatori evidenzianti la valenza ambientale; in tal modo, si potrà intervenire sui criteri premianti, contenuti nella certificazione ambientale LEED.⁵

Strumenti per la diagnosi energetica

Prima di procedere con la diagnosi energetica, è necessario che l'operatore concordi con il committente il grado di accuratezza, gli obiettivi della diagnosi e le esigenze dell'utente finale, poiché chiaramente, al variare di queste, varierebbe anche il livello di dettaglio nella conduzione della diagnosi.

Una diagnosi energetica può infatti essere condotta secondo diverse scale di dettaglio: leggera o di I livello, standard o di II livello e dettagliata o di III livello. A seconda della scala di approfondimento applicata, l'analisi energetica si può classificare in:

- approssimata (walkthrough audit), che rappresenta un approccio di base, da realizzare in tempi brevi ed economici;
- standard (standard audit), che viene utilizzata per valutazioni più approfondite, e con un approccio tecnico completo alla diagnosi;
- dettagliata (simulation audit), che prevede la simulazione dinamica del sistema nel suo complesso.

Durante l'esperienza condotta dagli allievi del Master ABITA, la fase di rilievo ha richiesto l'uso di una strumentazione idonea alla conduzione di una diagnosi di tipo standard, pertanto gli strumenti utilizzati sono stati:

- macchina fotografica digitale compatta;
- doppio metro rigido e/o fettuccia metrica;
- distanziometro digitale;
- termometro digitale;
- termo-flussimetro;
- termocamera ad infrarossi.

Le campagne di misura delle condizioni ambientali e delle caratteristiche termoigrometriche dei sistemi di involucro sono durate circa 10 giorni e hanno permesso di rilevare sia i valori di trasmittanza termica della pareti di chiusura esterne, che i profili di temperatura e di umidità relativa di alcuni locali interni agli edifici.

E' stata inoltre condotta un'indagine diffusa con termocamera a infrarossi al fine di:

⁵ LEED – Leadership in Energy and Environmental Design, fornisce un insieme di standard di misura per valutare le costruzioni ambientalmente sostenibili.



Da sinistra verso destra, termometro ad infrarosso, misuratore CO₂, termo-igrometro ad infrarossi e luxmetro



- rilevare le eventuali patologie presenti sulla muratura o sulle strutture (infiltrazioni, distacco di intonaco, mancanza di coibentazione, muffe, ecc...);
- individuare le zone di maggiore dispersione e la presenza di eventuali ponti termici;
- verificare la tenuta all'aria dell'involucro (opaco e trasparente);
- identificare le possibili cause di inefficienza degli impianti (errori in fase di esecuzione e di posa in opera, dispersioni, ecc).

A seguire, una descrizione sintetica circa gli strumenti utilizzati nella diagnosi:

1. Termometro ad infrarosso. La temperatura superficiale può essere rilevata in modo istantaneo con un termometro all'infrarosso poiché, tramite un sensore ottico sensibile alle radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda superiore a quella del visibile, è possibile misurare l'energia termica emessa per irraggiamento da un corpo. Lo strumento non sostituisce la macchina termografica, ma è in grado comunque di fornire indicazioni per i successivi livelli di approfondimento.
2. Igrometro. I valori dell'umidità possono essere misurati con un igrometro; gli strumenti attuali digitali consentono di ricavare il valore dell'umidità relativa e della temperatura, misurando anche il punto di rugiada.
3. Misuratore di CO₂. Il rilevamento continuativo, effettuato dal misuratore di CO₂, negli ambienti può fornire indicazioni sulla qualità di ventilazione degli stessi. Anche la presenza di persone in un locale può essere valutata indirettamente con questo strumento che, comunicando con il sistema di ventilazione meccanico, controlla la regolazione dei ricambi d'aria nei locali.
4. Luxmetro. Il luxmetro consente di misurare il livello di illuminamento, espresso in lux (lx). Nelle attività di energy audit, la misurazione del livello di illuminamento, anche se veloce, può dare valide indicazioni sul comfort luminoso e sull'efficienza del sistema di illuminazione.

pagina a fronte
In senso orario da sinistra verso destra, sistema di monitoraggio dei consumi elettrici con datalogger, pinza amperometrica e analizzatore della qualità della rete, dispositivo di monitoraggio dei consumi termici, endoscopio



5. Sistemi di monitoraggio dei consumi elettrici. Servono per monitorare, con continuità, il consumo elettrico di macchinari, di dispositivi o di interi reparti o zone (ad esempio, il monitoraggio dei consumi di illuminazione entro uno specifico comparto). Gli strumenti sono dotati di datalogger, grazie ai quali è possibile lasciare in opera i misuratori anche per lunghi periodi di tempo, memorizzando i dati misurati che verranno poi elaborati.
6. Multimetri per il rilievo di grandezze elettriche. Si tratta di strumentazioni che consentono di effettuare una serie di misurazioni in contemporanea e su diverse grandezze elettriche (tensioni, correnti, sfasamenti, potenze attive e reattive, fattori di potenza, ecc.); tale strumentazione, dotata di datalogger e connessione al PC, effettua il rilievo dei dati di interesse, anche per lunghi periodi di tempo. I multimetri necessitano di una misura con pinza amperometrica e di una tensione.
7. Sistemi di monitoraggio dei consumi termici. Necessari per rilevare, anche nel medio e lungo periodo, i consumi di energia termica dovuti ad ambienti o a processi e macchinari. Possono essere di più tipi, a seconda del fluido termovettore impiegato. Di questi strumenti ne esistono due versioni principali: a tempo di transito e ad ultrasuoni.

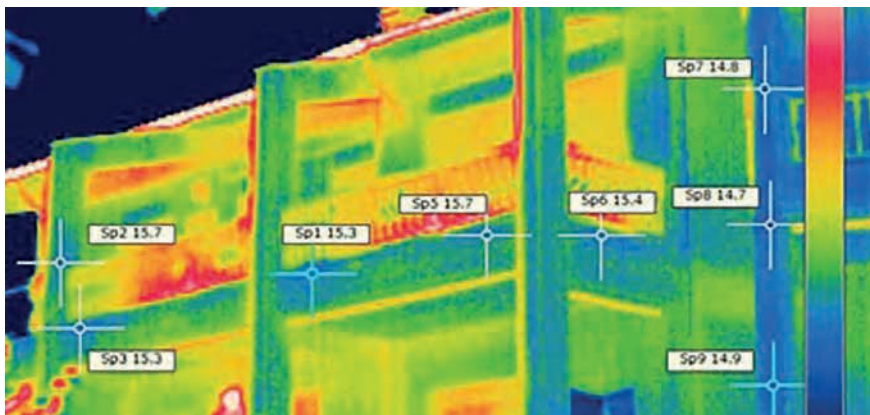
Strumenti per la valutazione delle prestazioni dell'involucro

La conoscenza delle caratteristiche termofisiche dell'involucro è necessaria per stabilire gli interventi da attuare, finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche. I principa-



sopra
elaborazione
grafica eseguita
tramite indagine
termografica

sotto
misuratore
dello spessore
del vetro,
termocamera
ad infrarossi e
termoflussimetro



li strumenti che vengono utilizzati di analisi sono: l'endoscopio, il misuratore di spessore del vetro, il termoflussimetro e la termografia.

1. Endoscopio. È costituito da un cavo flessibile o da una sonda in fibre ottiche la cui lunghezza varia, a seconda delle applicazioni, da un metro a più metri. Questo apparecchio viene generalmente usato per raggiungere punti difficili da ispezionare come canaline, cavità e controsoffitti; consente, inoltre, di indagare sulla stratigrafia di una parete.
2. Misuratore dello spessore del vetro. Tale strumento è adatto per misurare lo spessore di vetri doppi o tripli, rilevare la presenza di vetri basso emissivi o con pellicole, ed effettuare misure comparative.
3. Termoflussimetro. È lo strumento che permette di misurare in maniera 'quantitativa', l'isolamento termico di una parete verticale o di una copertura; serve inoltre a valutare il rendimento energetico di un edificio. La strumentazione, conforme alla normativa

ISO 9869, si compone di uno strumento di misura data-logger, di una piastra flussimetrica e di 4 sonde a contatto per la misura delle temperature delle pareti interne ed esterne. Le misure vengono poi scaricate su PC ed elaborate tramite un apposito software che effettua il calcolo diretto del coefficiente K e dei parametri legati all'isolamento termico, tale calcolo viene effettuato tramite il metodo delle medie mobili o tramite il metodo detto 'black box'. La prova termoflussimetrica, effettuata dopo un'ispezione termografica, è la prova più affidabile per valutare il reale isolamento termico di una parete.

4. La termografia consente di valutare le temperature superficiali delle pareti; consente sia di ottenere un'immagine termografica, evidenziante le caratteristiche di temperatura relative a più punti vicini, che di individuare con facilità i punti di perdita di energia. Tramite questa indagine è possibile anche effettuare analisi sui consumi di riscaldamento.

La termocamera viene utilizzata per i seguenti scopi:

- Individuazione dei ponti termici;
- verifica della struttura, coibentazione della struttura e degli impianti;
- discontinuità del materiale isolante;
- infissi con basso isolamento e ridotte prestazioni termiche;
- infiltrazioni d'aria;
- perdite di acqua nell'involucro;
- verifica di distacchi o di fessurazioni in intonaci e sulle strutture murarie;
- verifica degli impianti elettrici e termici;
- verifica dei pannelli fotovoltaici e solari termici.

La termocamera è uno strumento molto utile per le diagnosi energetiche degli edifici; è particolarmente efficace se abbinata al termoflussimetro, che fornisce valori più precisi ma con tempi più lunghi rispetto alla termocamera, che è invece istantanea.

Blower door test

La verifica completa della tenuta dell'involucro può essere fatta attraverso il blower door test, una prova che mette in pressione meccanicamente, attraverso un ventilatore, l'ambiente interno.

Il blower test è necessario per collaudare l'involucro, che deve rimanere ermetico (senza alcuna presenza di infiltrazioni di aria); tale strumento è idoneo alla verifica della permeabilità all'aria, secondo la norma tecnica UNI EN 13829 "Prestazione termica degli edifici – Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici – Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore", e permette di individuare sia le dispersioni energetiche dovute alle infiltrazioni, che le cause delle correnti d'aria all'interno dei locali. Qualora il test venga eseguito duran-

➔
fase di
monitoraggio
con il Blower
door test



te la fase costruttiva dell'edificio, gli eventuali punti deboli di questo strato possono essere risolti senza problemi ed in maniera più efficace. Il test completo, si articola in tre fasi:

1. durante la prima fase viene creata e mantenuta una differenza di pressione tra l'interno e l'esterno (costantemente pari a 50 Pa); viene dunque ispezionata l'intera superficie dell'involucro edilizio, alla ricerca dei punti non ermetici che causano le maggiori perdite di carico termico per infiltrazione;
2. nella seconda fase viene generata una depressione decrescente (da circa 70 Pa, si prosegue a passi di 5 Pa, sino al raggiungimento del valore finale di 25 Pa). Durante ogni passo vengono registrati i volumi d'aria che si perdono attraverso i punti di permeabilità e viene calcolato l'indice di quantità d'aria penetrata in un'ora (n_{50});
3. infine, durante la terza fase viene creata una sovrappressione e viene ripetuta la sequenza della fase precedente. Questo per valutare anche le dispersioni dovute alle diverse guarnizioni. Il risultato finale del test rappresenta il numero di ricambi orari del volume di aria interna che si ha attraverso le fessure dell'involucro, la cui sommatoria definisce la perdita totale.

Modellazione energetica del sistema edificio-impianto

Nella valutazione delle prestazioni energetiche, occorre considerare gli effetti che ciascun intervento migliorativo può determinare, sull'intero sistema, qualora venga realizzato contestualmente ad altri interventi. Il miglioramento delle prestazioni termiche do-

vute all'isolamento dell'involucro, per esempio, comporta una riduzione del carico termico dell'impianto di climatizzazione invernale, mentre il miglioramento dell'efficienza di un impianto di illuminazione comporta una riduzione dei carichi termici estivi e quindi del consumo energetico estivo per climatizzazione. Per stimare l'efficacia di un intervento, in termini di miglioramento della prestazione globale di un edificio, si ricorre all'uso di strumenti di simulazione energetica in grado di prefigurare, sulla base dell'analisi di un modello rappresentativo (più o meno complesso del sistema edificio-impianto, quanto più aderente al caso reale), diversi scenari di efficientamento energetico del fabbricato e dell'impianto, determinati da uno o più interventi migliorativi che, combinati tra loro, consentono di:

- individuare una scala di priorità degli interventi per la riqualificazione energetica e il miglioramento del comfort indoor degli utenti;
- suggerire azioni per una corretta gestione dell'energia, attraverso operazioni volte alla razionalizzazione dei flussi energetici tra sistema edificio-impianto ed ambiente esterno.

Il livello di approfondimento di un audit energetico determina il livello di dettaglio dei modelli di simulazione e dei relativi strumenti software, utili a caratterizzare, sotto il profilo energetico, il comportamento del sistema edificio-impianto.

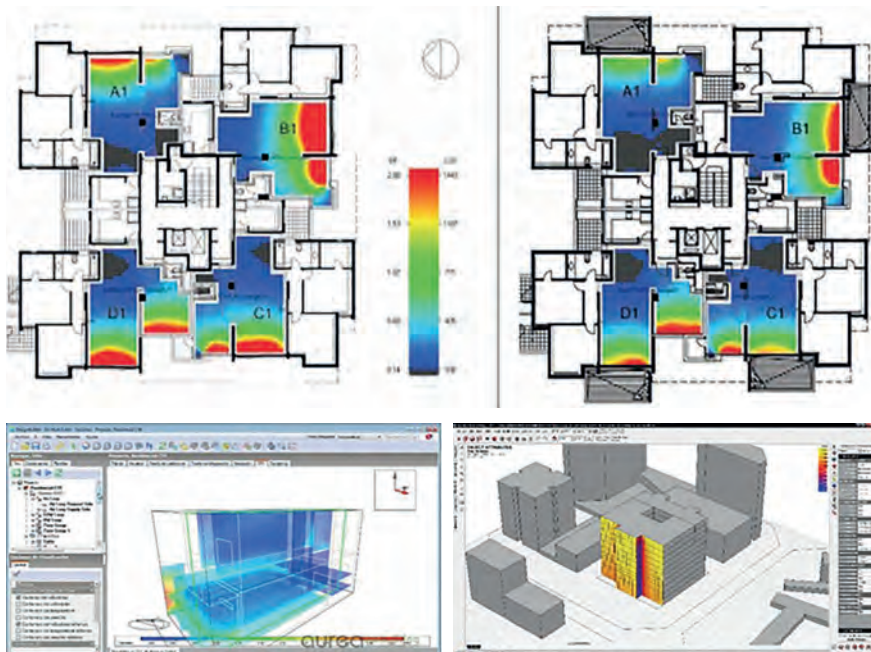
La mole di dati, raccolti nelle fasi precedenti attraverso l'attività del professionista, è destinata alla simulazione del comportamento termodinamico dell'edificio oggetto della diagnosi, seguendo un approccio top-down (così come descritto dalle norme tecniche della serie UNI TS 11300 e nelle norme ad esse correlate).

Tale metodologia fa riferimento all'uso, da parte del professionista, di programmi di simulazione commerciali, certificati dal CTI per la progettazione termica degli edifici, che si basano sul un calcolo in regime semi-stazionario. Nella prassi progettuale corrente, infatti, ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria, relativo alla climatizzazione estiva ed invernale degli edifici, si utilizzano metodi di calcolo standardizzati su base stagionale o mensile (così come indicato nella norma europea EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling").

Una volta attribuite al modello le caratteristiche geometriche e fisiche del fabbricato, dell'involucro, degli impianti e dai dati relativi al clima, si giunge (utilizzando un modello matematico), al consumo teorico di energia primaria per i diversi usi energetici. Attraverso il bilancio energetico, applicato al sistema edificio-impianto, e a un'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito, si arriva a determinare quanta e che tipo di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo, e come essa è stata prodotta, trasformata e consumata.

Una volta attribuite al modello le caratteristiche geometriche e fisiche del fabbricato, dell'in-

➔
fase di
monitoraggio
con il Blower
door test



volucro, degli impianti e dai dati relativi al clima, si giunge (utilizzando un modello matematico), al consumo teorico di energia primaria per i diversi usi energetici. Attraverso il bilancio energetico, applicato al sistema edificio-impianto, e a un'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito, si arriva a determinare quanta e che tipo di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo, e come essa è stata prodotta, trasformata e consumata.

Validazione del modello di simulazione e analisi economica degli interventi

Il processo di validazione del modello di simulazione avviene attraverso un approccio di tipo bottom-up che, a partire dall'analisi degli scostamenti tra dati di consumi reali e dati simulati, permetta di verificare la correttezza dei dati di input e di eseguire un eventuale affinamento dei parametri introdotti nel modello, in modo tale da rendere i due set di dati congruenti tra loro.

Ai fini delle analisi successive, il modello di simulazione risulta validato quando simula correttamente il comportamento dell'edificio con scostamenti, tra dati teorici e reali, al di sotto del 15% per tutte le annate esaminate.

Qualora tale condizione non fosse verificata⁶ per più annate, si rende necessario un riesame dei dati di input e delle ipotesi adottate a monte della simulazione (periodi di spegnimento/attenuazione degli impianti, stratigrafie dei componenti opachi, periodi di occupazione parziale dell'immobile, eventuali anomalie nell'uso dell'immobile connesse alle specifiche annate anomale).

In assenza di errori e incongruenze nel modello, si procede con l'uso di un coefficiente correttivo da applicare ai risultati del modello.

Al termine del processo sopra descritto, ottenuti i fabbisogni energetici del sistema edificio-impianto, è possibile procedere con l'individuazione degli interventi migliorativi per il sistema, conducendo un'analisi sotto il profilo tecnico ed economico.

Sulla base dei risultati e delle informazioni raccolte, per ciascun intervento individuato, occorre valutare il risparmio che ne consegue in termini di risparmio sia energetico, che economico. Il passaggio successivo consiste in una vera e propria economica.

Per ciascuno degli scenari individuati si determineranno sia la convenienza, e il relativo tempo di ritorno, sulla base del costo dell'intervento che il committente dovrà sostenere, che il risparmio economico, ottenuto a seguito della riduzione dei consumi energetici; insieme al cliente, sarà scelto lo scenario più conveniente.

Contestualmente, si potranno comunicare al committente specifiche forme di finanziamento, o incentivi fiscali a cui accedere, per eseguire gli interventi di efficientamento energetico.

L'esperienza professionalizzante del master ABITA

Il percorso formativo, formulato nell'ambito della XIV edizione del Master ABITA, è stato strutturato come un modulo specifico professionalizzante, rivolto a laureati in ingegneria ed architettura che operano nel settore civile.

Il corso ha lo scopo di fornire agli iscritti le conoscenze e gli strumenti necessari per condurre un lavoro di diagnosi energetica su una serie di casi studio, in accordo con quanto disposto dalle normative in tema di efficienza energetica nel settore edilizio.

L'esperienza didattica, che ha visto gli studenti del Master ABITA (dell'a.a. 2016/17), impegnati in un ciclo programmato di lezioni frontali, dedicate all'inquadramento delle tematiche sull'efficienza energetica del settore civile ed industriale (a loro volta all'interno di più ampi contesti, quali quello del mercato dell'energia, e quello della normativa in materia di

⁶ Qualora i risultati relativi ad un'unica annata risultino fuori dal range di accettabilità, sarà compito del professionista valutare se l'anomalia sia accettabile o si renda comunque necessario adottare il coefficiente correttivo. Un criterio ragionevole consistere nell'eseguire un confronto tra le medie calcolate sull'insieme delle annate analizzate. Se lo scostamento tra i due valori medi, reale e calcolato, è inferiore al 10% il modello può essere considerato corretto, altrimenti si procede all'applicazione del coefficiente correttivo.

gestione dell'energia), si è conclusa con un'esperienza diretta sul campo: la redazione di tre diagnosi energetiche, realizzate su edifici pubblici del Comune di Firenze.

Tali edifici sono stati: due scuole secondarie di primo grado, la scuola Giosuè Carducci e la scuola Giuseppe Verdi, e una piccola palestra nel quartiere di San Niccolò.

L'attività è stata coordinata dal Centro ABITA, in collaborazione con il Comune di Firenze, che ha fornito tutta la documentazione tecnica necessaria all'avvio delle attività programmate all'interno del corso.

All'interno del percorso formativo del Master, è stato proposto agli allievi l'uso del codice di calcolo e di simulazione energetica Energy Plus, con interfaccia grafica Design Builder, che consente di facilitare al massimo il processo di modellazione e di inserimento dei dati e di comparare i consumi energetici degli edifici, i parametri di comfort abitativo, i livelli di illuminazione naturale ed artificiale degli ambienti e le prestazioni di differenti materiali e configurazioni impiantistiche.

Nelle pagine che seguono, si illustrano i risultati dei lavori degli iscritti che hanno svolto le diagnosi energetiche sui tre edifici sopracitati, adottando la metodologia descritta secondo i criteri illustrati nella norma tecnica UNI CEI EN 16247 parte 4. Le diagnosi energetiche sono state seguite durante i sopralluoghi, le fasi di monitoraggio e durante la loro stesura dai docenti: Arch. Lucia Ceccherini Nelli, Ing. Marco Prosperi, Ing. Alessandra Donato, Arch. Fabio Sciarpi, Arch. Leone Pierangioli, in collaborazione con il Geom. Luigi Di Guida del Comune di Firenze.

Bibliografia

- Butera F. M. 1995, *Architettura e ambiente*, Etaslibri, Milano.
- Butera F. M. 2004, *Dalla Caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Cannaviello M., Violano A. 2005, *La certificazione energetica degli edifici*, Franco Angeli, Milano.
- Chiesa G., Dall'O' 1996, *Risparmio energetico in edilizia, criteri e norme*, Masson Milano.
- Dall'O' G. 2000, a cura di *Gli impiantiniell'arhitettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- Dall'O' G. 2003, a cura di *Gli impiantiniell'arhitettura e nel restauro*, UTET, Torino.
- Dall'O' G. Galante A. 2004, "Building Energy Labelling, meglio passare ai fatti", in *Modulo* n. 304, BE-MA Editrice, Milano.
- Dall'O' G., Galante A. 2005, *Procedure semplificate di controllo e verifica della qualità energetica degli edifici da parte degli enti pubblici*, in Sergio Rinaldi a cura di, *La qualità nel processo di attuazione dell'organismo edilizio*, Collana Strumenti e metodi per la gestione della qualità del costruito, Alinea, Firenze.
- Dall' O' G. 2011, *Green Energy Audit. Manuale operativo per la diagnosi energetica e ambientale degli edifici*, Edizioni Ambiente, Milano.
- ENEA 2013, *Rapporto Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici*.
- Fassi A., Maina L 2006, *L'isolamento ecoefficiente, guida all'uso dei materiali naturali*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Mammi S. 2005, *I materiali isolanti*, Ed. TEP, Milano.
- Silvestrini G., Gamberale M. 2004, *Eolico, paesaggio e ambiente*, Mauzzio Editore, Padova.
- Szokolay S. V. 1979, *Environmental Science Handbook*, The Construction Press, London.
- Mari M., Paganin 2002, *Il progetto e la certificazione*, Il sole 24 Ore Pirola Ed., Milano.
- Mirandola R, Tuccoli M. Vaglini S., De Risi P.,1992, *Sistemi Qualità*,II Ed. ETS, Pisa.
- Van Dijk D., Spiekman M. 2004, *Energy Performance of Buildings Outline for Harmonised ED procedures – Final Report*, TNO Building and Construction Reserch, The Netherlands.





sopra a
sinistra
corridoio
interno alla
scuola

sopra a
destra
scalinata
d'ingresso
della scuola

sotto
facciata
principale
dell'istituto
scolastico

Estratto da:
relazione
tecnica di
sintesi di V.
Castellana, F.
De Cristofaro,
C. Ferrante,
I. Meffe, A.
Menin, L. G.
Niglia, M. G.
Perrini, M.
Previtali

Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato

La maggior parte degli edifici scolastici costruiti prima del 1976, anno in cui è entrata in vigore la prima legge sul contenimento del consumo energetico degli edifici, ha pareti e finestre che disperdono verso l'esterno gran parte dell'energia fornita per riscaldare aule, uffici e ambienti annessi. Se a questo aggiungiamo i sistemi di illuminazione e gli impianti termici che sono poco efficienti, possiamo affermare che oltre il 50% dell'energia che usiamo per riscaldare gli edifici scolastici può essere risparmiata. A testimonianza di ciò, è stata scelta una scuola di Firenze (Scuola Secondaria di I grado G. Carducci), e ne è stata redatta la diagnosi energetica.

Partendo dallo stato attuale, tramite raccolta dati sui consumi effettivi e sui costi energetici legati al normale utilizzo, sono stati condotti sopralluoghi e rilievi presso l'edificio in questione e, successivamente, sono state proposte particolari soluzioni di interesse per il miglioramento energetico. Dall'analisi dei dati emerge in che modo l'energia viene utilizzata, quali possano essere le cause degli eventuali sprechi e quali potrebbero essere gli interventi migliorativi. Alla base degli interventi migliorativi è stata fatta una preventiva valutazione di fattibilità tecnico-economica al fine di valutare, sotto il profilo costi-benefici, i possibili interventi, quantificati in termini di energia primaria.

L'obiettivo non è solo quello del contenimento della spesa, ma anche il miglioramento delle condizioni di benessere degli alunni, oltre che la crescita di consapevolezza sui temi ambientali delle giovani generazioni.

L'audit realizzato utilizza un modello energetico conforme alla normativa in vigore, la cui validazione viene eseguita tramite opportuni fattori di aggiustamento: dati climatici reali e reale utilizzo del fabbricato. La relazione relativa all'audit si compone di una parte riassuntiva dei risultati e delle analisi effettuate, di calcoli e di valutazioni al dettaglio.

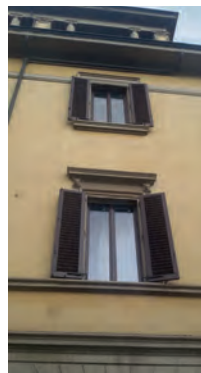
Stato di fatto

La scelta dell'intervento prende in considerazione la zona climatica di appartenenza dell'edificio, assegnata con Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993 e



sopra a sinistra
palestra della
scuola

a destra
esempio di
bugnato e
finestra in
facciata



pagina a fronte
sopra a sinistra
pianta
piano terra
dell'edificio,
stato di
fatto delle
apparechiature
elettriche e
termiche

sopra a destra
Lim, proiettore
della scuola e
illuminazione
artificiale a neon

sotto
terminali di
erogazione del
calore, in ghisa,
quadro elettrico
generale con
rifasatore e
centrale termica
in copertura

successivi aggiornamenti fino al 31 ottobre 2009. L'edificio in questione risulta appartenere alla zona climatica D.

La struttura, realizzata nella seconda metà degli anni Ottanta, si trova in Viale A. Gramsci e si estende per una superficie totale di circa 1550 mq, organizzati in quattro livelli fuori terra; si aggiungono un livello interrato che ospita locali adibiti a deposito e il livello copertura, che ospita la centrale termica e viene spesso sfruttato come palestra all'aperto.

Il fronte principale presenta una superficie decorata con bugnature in corrispondenza del primo livello; i piani superiori sono caratterizzati da superficie intonacata e, al fine di movimentare il prospetto, è stato realizzato un insieme di architravi a rilievo per ogni finestra. Non è stato possibile avere informazioni circa le componenti opache dell'involucro, bensì è stato possibile ottenere le prestazioni certificate, fornite dal produttore, delle componenti trasparenti: sostituite nel 2014 quelle su fronte strada, mentre nella seconda metà del 2016 le restanti. Si tratta di elementi con telaio in legno di pino lamellare e camera a doppio vetro. La struttura ospita principalmente aule didattiche e laboratori musicali ed artistici, mentre gli uffici sono decentrati in un'altra struttura, trattandosi di un Istituto Comprensivo. E' importante specificare, ai fini dell'analisi dei consumi, l'orario di svolgimento delle lezioni che va, dal lunedì al venerdì, dalle ore 8.00 alle ore 14.00. Il piano tipo è organizzato come nella pianta riportata in basso a destra, dove sono indicate anche le principali utenze elettriche.

Sono stati individuati, in particolare: lampade al neon e alogene, postazioni PC, Lim e proiettori, distributori bevande e snack, boiler per acqua calda sanitaria, asciugamani elettrici ad aria etc. e, per ognuno di essi, sono state indicate le potenze espresse in watt.



In corrispondenza dell'ingresso principale, a piano terra, è presente il quadro elettrico generale con rifasatore, di cui, in basso a sinistra, è stata allegata fotografia.

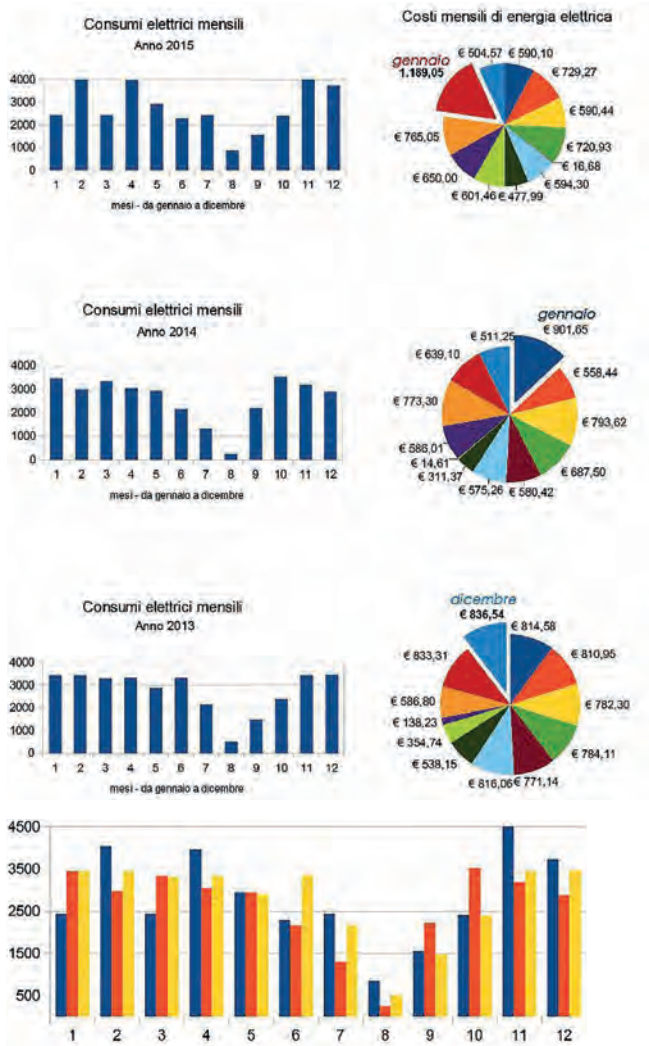
La documentazione analizzata rivela l'intenzione, da parte dell'amministrazione, di sostituire il vecchio e tradizionale generatore di calore con uno a condensazione e, quindi, più efficiente. La certificazione energetica, datata luglio 2012, rilevava consumi molto elevati e proponeva, come intervento migliorativo, la sostituzione del generatore di calore tradizionale con uno a condensazione.

La centrale termica è installata nel livello copertura. In assenza di dati certi e verificabili, e considerando il periodo di costruzione della struttura, si ipotizza un sistema di distribuzione a montanti verticali. E' possibile, invece, definire con certezza la tipologia dei terminali di emissione: si tratta di radiatori in ghisa con numero di colonne variabile a seconda dell'ambiente in cui sono installati, posizionati in corrispondenza delle pareti esterne e al di sotto



sopra
Consumi elettrici
mensili del
triennio 2013-15

sotto
grafico sul
confronto dei
consumi elettrici
mensili del
triennio 2013-15



pagina a fronte
In senso orario
da sinistra verso
destra, sonda
esterna per il
rilevamento
della
temperatura
esterna; esempio
di valvola
termostatica e
ripartitore del
calore

delle componenti finestrate (immagine in alto al centro). Gli elementi di termoregolazione sono stati riscontrati solo nei corridoi e non nelle singole aule. La centrale termica è stata individuata nel piano seminterrato, in apposito ambiente. Sono stati determinati e documentati i consumi elettrici dell'edificio di ogni piano e poi determinato il totale, ammontante a circa 38.000 KW.



Interventi

La scelta degli interventi è in funzione dello stato di conservazione dell'edificio, del potenziale risparmio conseguibile e soprattutto della disponibilità economica e della capacità di reperire fondi. Alla luce dello studio dello stato di fatto nel quale si trova la scuola G. Carducci, a livello generico, sono stati proposti interventi in due diversi ambiti: componenti tecnologiche e componenti impiantistiche. Dal punto di vista impiantistico, le azioni eseguite nell'ambito del sopralluogo sono state le seguenti:

- Rilevamento del tipo e della posizione prevalente dei sistemi di emissione e del tipo di regolazione per singolo volume riscaldato, per zona e per l'intero immobile (presenza di valvole termostatiche, regolazione climatica per zona, ecc.);
- verifica del tipo di distribuzione per il riscaldamento (verticale, orizzontale), e presenza o meno di coibentazione sulle tubazioni e relativo stato;
- verifica delle caratteristiche e dei dati di targa del generatore di calore, nonchè del suo stato di conservazione.
- verifica del regime di funzionamento continuo, intermittente o attenuato degli impianti, con individuazione di quello continuo durante l'orario di attività didattica.



sopra a sinistra
Grafico sul
risparmio
energetico
dovuto alla
presenza di
sensori di
presenza nei
bagni



sotto a destra
Esempio di
sensore di
presenza. In
basso, timer
automatico on/
off per punti
luce e postazioni
pc/Lim



A seguito del primo rilevamento, si è evinto che la totalità dei terminali di emissione presenti all'interno dell'edificio è composta da radiatori in ghisa posti su parete esterna nelle aule e su parete divisoria nei corridoi, mentre sono stati rilevati termostati nei soli corridoi. Per quanto invece si possa desumere dal secondo rilevamento, in mancanza di dati certi, si presume che l'immobile, trattandosi di un edificio di costruzione antecedente agli anni '90, disponga di un impianto a distribuzione verticale.

Inserendo le valvole termostatiche, si consente di mantenere la temperatura ambiente ad un valore fissato, evitando indesiderati incrementi termici.

La temperatura, regolata nei singoli ambienti, compensa gli apporti gratuiti e le diverse esposizioni. Trattandosi di un edificio pubblico, si consiglia l'installazione di un limitatore di corsa sulla manopola, per impedirne la libera manomissione.

Il risparmio che si consegue può arrivare fino al 15%.

Per quanto concerne i costi, una valvola termostatica completa costa circa 60,00 euro, manodopera compresa. Dal momento che nell'edificio in esame sono presenti settanta radiatori, la spesa iniziale ammonterebbe a circa 4000 euro; raffrontando questa spesa con il costo del combustibile, si ottiene un risparmio annuo di circa 1200 euro.

Si è inoltre ipotizzato l'ammortamento totale della spesa utile all'installazione delle valvole termostatiche di circa tre anni e mezzo dalla data di intervento (tre cicli invernali di messa in funzione dell'impianto di riscaldamento).

Altro intervento consiste nell'installare un sistema di termoregolazione della centrale termica, attraverso una sonda esterna di temperatura. La presenza di tale sonda, installata sulla parete nord dell'edificio, garantisce l'accensione del generatore di calore solo se la temperatura esterna scende al di sotto di valori prefissati.

Ad esempio, se la temperatura esterna è pari a 16 °C, la sonda fa in modo che la caldaia non parta, realizzando così un notevole risparmio di combustibile, non permettendo all'impianto di funzionare nelle giornate invernali più calde.

L'illuminazione incide particolarmente sul consumo energetico della scuola. Si è rilevato, durante sopralluogo, che l'intero gruppo di apparecchi illuminanti è costituito da plafoniere con tubi a neon di varie dimensioni, il cui utilizzo maggiore è compreso tra le 8.00 del mattino e le 14.00. Si propongono alcuni interventi migliorativi al fine di diminuire il consumo elettrico: sostituzione con punti luce a LED, inserimento di sensori di presenza nei bagni, timer automatico on/off per punti luce e postazioni pc/Lim. Per ridurre il fabbisogno di illuminazione artificiale delle zone interne all'edificio scolastico, è possibile includere l'opzione di accensione automatica o, al bisogno, il manuale delle luci, con la possibilità di regolare il flusso luminoso.

Con l'inserimento di un timer all'interno del quadro elettrico, sarebbe altresì possibile anche il controllo dello spegnimento automatico dell'alimentazione delle postazioni pc e LIM. E' inoltre raccomandabile inserire sensori di presenza all'interno dei bagni, per eliminare il motivo più banale di consumo, come la distrazione perché ci si dimentica di spegnere la luce.

Con questi interventi, più il controllo è automatico e sofisticato e più sarà possibile ridurre i costi di illuminazione dell'immobile. Per quanto riguarda i punti luce, l'intervento prevede

la sostituzione dell'intera plafoniera con una a LED. Allo stato attuale gli apparecchi illuminanti sono costituiti principalmente da plafoniere a tubi a neon di 60, 120 e 150 cm. Il costo complessivo dell'intervento sarebbe di circa 7000 euro, mentre il risparmio annuo arriverebbe a circa 1300 euro, con un tempo di ammortizzamento della spesa pari a sei anni.

Bibliografia

Alcamo G., Sala M. 2007, *Illuminazione naturale e simulazioni energetiche*, Alinea Editrice, Firenze

De Santoli L., Mancini F. 2005, *Procedura Semplificata per la Valutazione dei Fabbisogni Energetici dei Trattamenti dell'Aria*, Università La Sapienza, Roma.

Gallo P. 2013, *Sistemi costruttivi e prodotti: una risposta alle normative per l'efficienza energetica*, Il Progetto Sostenibile, pp. 6-13

Pepe D., Rossetti M. 2014, *La riqualificazione energetico-ambientale degli edifici scolastici*, Maggioli Editore, Firenze





sopra
aero-
fotogrammetria
zona
San Niccolò

Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato

sotto
Prospetto
Nord Est della
palestra, lato
strada

Estratto da:
relazione
tecnica di
sintesi di L.
Fantacci, A.
Maggini, C.
Ruggieri, F.
Visone.

L'immobile oggetto di audit energetico è una palestra sita in zona 'San Niccolò', di proprietà del Comune di Firenze e ritenuto, per le sue finiture, di pregio storico. Tale immobile, riquilificato una sola volta negli anni '90, è costituito da due piani fuori terra, due unità immobiliari di cui una adibita ad ufficio comunale e l'altra a palestra, su un unico piano a doppia altezza.

Il presente audit ha lo scopo di: rilevare i consumi energetici dell'immobile, mediante analisi di bollette e consuntivi spese, per ricavarne un profilo di consumo energetico (mq/anno); individuare le zone di dissipazione termica dell'involucro; individuare le inefficienze di impianti e sistemi in uso; individuare le opportunità di risparmio energetico e ottimizzazione energetica sia dell'involucro che dell'impianto; quantificare tale risparmio sotto il profilo costi-benefici.

Il Comune di Firenze, conformemente al D.lgs. 102/2014, recepimento della Direttiva Europea 2012/27/UE, in qualità di Pubblica Amministrazione ha l'obbligo di svolgere un ruolo esemplare nel contenere e limitare i consumi e gli sprechi energetici, attraverso interventi di riqualificazione energetica.

Per ottemperare a tali obblighi, l'investimento economico a disposizione è esiguo, pertanto la richiesta è quella di ricercare vie poco onerose, accentuando le buone pratiche e comportamenti virtuosi. Verranno quindi indicati i comportamenti che i fruitori dovranno tenere per una corretta gestione dell'immobile.

Come nel predente lavoro, si è proceduto prima ad analizzare il sito da un punto di vista climatico, dopo si è proceduto con una puntuale analisi dell'immobile sotto il punto di vista tecnologico ed impiantistico, per poi passare a proporre degli scenari di risparmio energetico, rispettando le limitazioni del budget imposto.

Stato di fatto

L'immobile in questione, secondo il D.P.R 412 del 26 agosto 1993, ricade in zona climatica D e ad essa corrisponde un valore in gradi giorno compreso tra 1401 e 2100.



Termus G,
dati climatici
del comune
di Firenze e
valori delle
temperature
medie mensili

TIPOLOGIA CALCOLO

Calcolo secondo decreti attuativi Legge 90/2013

COMUNE

COMUNE: **BAGNO A RIPOLI** CAP: **50012**
 Provincia: **FIRENZE** Sigla: **FI**
 Regione: **TOSCANA**
 Dati geografici: Latitudine: 43°45'13" Longitudine: 11°19'12" Altitudine: 75 m

DATI INVERNALI DI PROGETTO

Zona Climatica: D

Temperatura esterna [C°]: **0**
 Umidità relativa esterna [%]: **28.3**
 Gradi Giorno: **1854**
 Velocità Vento [m/s]: **2.2**

DATI ESTIVI DI PROGETTO

Temperatura esterna [C°]: **33.5**
 Umidità relativa esterna [%]: **45.0**
 Escursione termica giornaliera [C°]: **13.0**
 Riduzione irrad. TOT per foschia [%]: **0.0**

TEMPERATURE MEDIE MENSILI [C°]

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
5.1	6.3	9.7	13.6	17.6	22.0	24.8	24.1	20.7	15.1	10.0	6.1

UMIDITA' RELATIVA MENSILE [%]

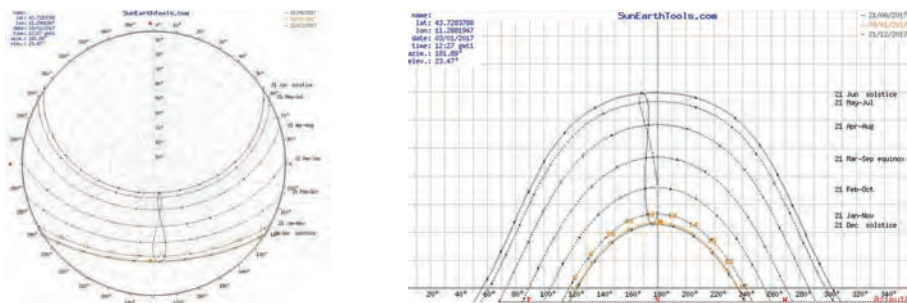
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
83.7	76.4	73.0	60.1	64.6	67.6	60.8	55.9	68.9	78.3	88.2	72.3

IRRADIAZIONI

IRRADIAZIONI [MJ/m²]

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
N	1.8	2.6	3.7	5.4	8.0	9.6	9.3	6.5	4.3	3.0	2.0	1.6
NE	2.0	3.3	5.5	8.5	11.5	13.0	13.5	10.7	7.3	4.3	2.3	1.7
E	4.3	6.3	8.8	11.9	14.4	15.5	16.8	14.8	11.8	8.4	4.9	3.8
SE	7.4	9.3	11.0	12.5	13.2	13.2	14.6	14.7	13.9	12.0	8.1	6.8
S	9.4	11.0	11.5	11.1	10.4	9.9	10.8	12.1	13.6	13.9	10.2	8.8
SW	7.4	9.3	11.0	12.5	13.2	13.2	14.6	14.7	13.9	12.0	8.1	6.8
W	4.3	6.3	8.8	11.9	14.4	15.5	16.8	14.8	11.8	8.4	4.9	3.8
NW	2.0	3.3	5.5	8.5	11.5	13.0	13.5	10.7	7.3	4.3	2.3	1.7
H Tot.	5.3	8.2	12.2	17.4	21.9	24.1	25.6	21.7	16.3	10.9	6.1	4.6

pagina a fronte
Termus G,
diagrammi del
percorso solare



Analizzando i dati climatici del comune, estrapolati dal software ACCA Termus G, sono stati inoltre determinati i valori delle temperature medie mensili (sia a regime invernale sia estivo), e quelli di irradiazione media mensile a seconda dei vari orientamenti.

In seguito, attraverso la lettura dei diagrammi solari, sono stati individuati i percorsi solari ed i relativi valori in coordinate, corrispondenti alle situazioni estreme (solstizio di inverno e solstizio di estate).

Per quanto concerne l'involucro dell'edificio nella sua complessità, esso è in muratura, spessa 45 cm circa, non isolata termicamente. La sua finitura esterna è in pietra bugnata, nella parte frontale visibile dalla strada, e intonacata di giallo sul retro.

A seguito di sopralluoghi è stato inoltre rilevato che: nella zona uffici, immediatamente sotto gli infissi, sono posizionati i radiatori che riducono però, in loro prossimità, lo spessore murario; il soffitto, inclinato, è in cannuciatto non coibentato; non sono presenti schermature o aggetti per limitare il carico solare nei mesi estivi; le finestre sono a vetro singolo di 3 mm con infisso di legno; nella palestra gli infissi sono, alcuni di ferro con vetro singolo opaco senza oscuranti, altri in legno massello con vetro semplice.

Infine, la centrale termica è esterna all'edificio, in una piccola resede posta sul retro e non accessibile per l'ispezione.

Per quanto riguarda le utenze della palestra, essa risulta essere utilizzata giornalmente dalle ore 7:00 alle ore 23:00, dal lunedì al sabato.

Per gli impianti elettrici e termici, tramite sopralluogo, sono stati analizzati per ogni zona, e successivamente censiti, i dettagli.

Gli uffici presentano una situazione abbastanza comune e poco suscettibile di miglioramento. Sono infatti presenti computer e stampanti e le lampade presenti sono fluorescenti. Un piccolo bollitore elettrico per l'a.c.s. in bagno potrebbe essere preso in considerazione per eventuali sostituzioni, ma tale scelta comporterebbe un investimento iniziale che difficilmente sarebbe recuperabile in un tempo ragionevole. Nella palestra, invece, l'impianto elet-



Scheda tecnica
dei terminali
di erogazione
del calore in
alluminio

DATI TECNICI TECHNICAL DATA

Modello Model	A Interasse mm Distance between centres mm	B Altezza mm Height mm	C Profondità mm Depth mm	D Larghezza mm Width mm	Diametro pollici Diameter inches	Contenuto d'acqua lit/elemento Water content lit/element	Resistenza termica EN 442 $\Delta t = 50\text{ K}$ Watt/elemento Thermal power EN 442 $\Delta t = 50\text{ K}$ Watt/element	Resistenza termica EN 442 $\Delta t = 30\text{ K}$ Watt/elemento Thermal power EN 442 $\Delta t = 30\text{ K}$ Watt/element	Esponente N Exponent N
TROPICAL									
TROPICAL	350	430	95	80	1"	0,25	92	45	1,297
TROPICAL	500	580	95	80	1"	0,34	125	62	1,301
TROPICAL	600	680	95	80	1"	0,39	144	73	1,293
TROPICAL	700	780	95	80	1"	0,44	162	82	1,343
TROPICAL	800	880	95	80	1"	0,49	179	89	1,345

modello	altezza A [mm]	interasse I [mm]	profondità P [mm]	passo [mm]	cont. H ₂ O [l]	peso [kg]	emissioni [W] $\Delta t=50^{\circ}\text{C}$	espon.
TEMA 2/871	874	813	60	60	0,71	5,2	81,7	1,300
TEMA 3/400	402	342	94	60	0,52	3,9	55,8	1,327
TEMA 3/558	562	500	94	60	0,73	5,0	76,2	1,313
TEMA 3/681	686	623	94	60	0,80	5,9	89,2	1,304
TEMA 3/871	875	813	94	60	1,00	7,7	109,2	1,289
TEMA 4/558	565	500	128	60	0,82	6,2	93,4	1,299
TEMA 4/681	686	623	128	60	0,97	7,5	112,1	1,336
TEMA 4/871	875	813	128	60	1,21	9,8	137,5	1,331
TEMA 5/558	561	500	162	60	1,03	7,6	113,7	1,311
TEMA 5/681	686	623	162	60	1,18	9,2	136,1	1,321
TEMA 5/871	875	813	162	60	1,43	11,2	165,8	1,323
TEMA 8/300	303	242	267	65	1,14	6,9	103,0	1,326

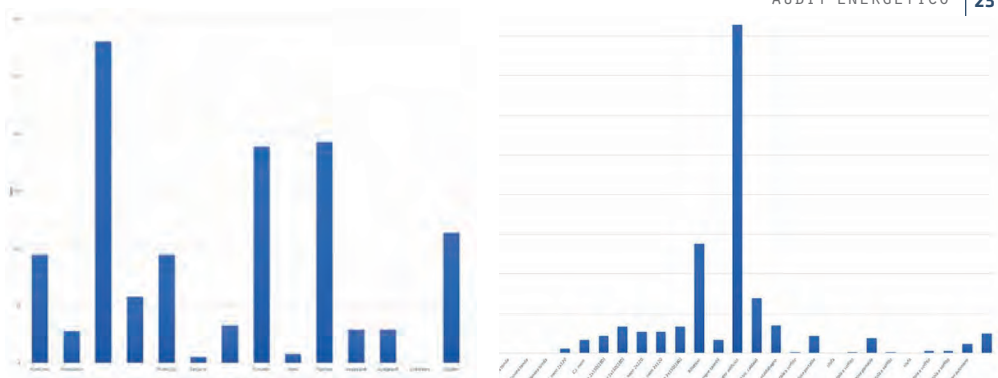
trico non è ottimizzato: l'illuminazione nell'area principale e nel cortile è ottenuta grazie all'uso di lampade alogene ad alto consumo energetico.

Come si evince dall'analisi dei consumi, tali lampade costituiscono la quasi totalità dei consumi elettrici, facilmente contenibili con una semplice relamping dell'intera area.

Grazie ad una attenta documentazione fotografica, è stato possibile redigere una lista completa dei dispositivi; di ognuno di essi poi, sono state ricercate le relative schede tecniche e si è determinata la potenza, al fine di una corretta analisi dei consumi globali. In merito all'impianto termico, nella zona uffici è presente una caldaia ad acqua murale per riscaldamento disposta in ciascun locale d'ingresso, con sistema telematico di telegestione. Gli orari di accensione, controllati in remoto, sono 7.00- 17.30. Gli impiegati lamentano molto freddo la mattina e molto caldo d'estate. Hanno a disposizione due elementi mobili di condizionamento. I terminali presenti in tutto il piano, sono caloriferi in allu-

*pagina a fronte
a sinistra*
**Grafico sui
consumi
ausiliari
complessivi
della palestra**

a destra
**Grafico sui
consumi
generali
complessivi**



minio. Nella palestra, invece, è presente una caldaia ad acqua in centrale termica esterna al fabbricato principale, non riscaldata. In entrambe le zone, radiatori e convettori sono privi di sistemi di regolazione e contabilizzazione.

Analisi dei consumi

La stima della potenza emessa, tramite censimento dei terminali di riscaldamento, ammonta a circa 56 kW dei quali, circa 48 kW appartengono alla palestra, e solo 8 kW agli uffici. Per questo motivo, la maggiore attenzione, nello svolgimento dell'analisi energetica, è stata posta proprio sul primo elemento. A tale scopo, si è innanzitutto analizzato lo stabile, verificando il rilievo ottenuto dal committente.

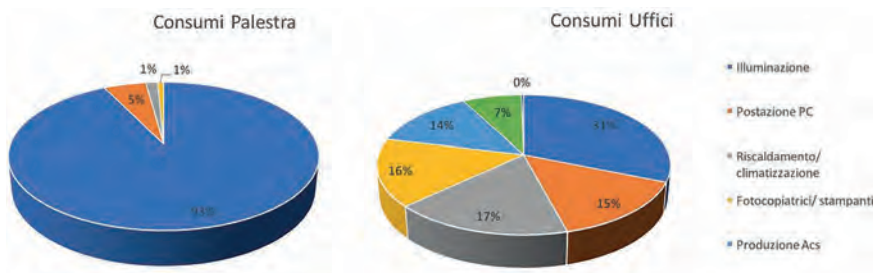
Poiché l'obiettivo è la costruzione di un modello di calcolo affidabile, si è proceduto all'analisi dei consumi reali sulla scorta del rilievo accurato degli elementi che consumano energia (termica ed elettrica), presenti e operativi nell'immobile. Infatti, una volta rilevati, tali elementi sono stati catalogati in un abaco con i relativi consumi, calcolandoli laddove non fosse stato chiaramente specificato dal produttore. Si sono dunque calcolati i consumi in base al tempo d'utilizzo presunto di ciascuno di essi, o al tempo di utilizzo verificato, come nel caso dell'impianto termico che ha orari fissi e stabiliti in entrambe le aree dell'involucro.

Una volta fatto tale calcolo, si sono confrontati i dati ottenuti con i consumi effettivi ricavati dalle bollette dell'ultimo triennio. Per quanto riguarda l'impianto elettrico, analizzando i dati rilevati, per prima cosa sono state prese in considerazione le ore di utilizzo da parte dell'utenza. Per fare questo, il coefficiente d'uso giornaliero e il coefficiente d'uso annuale hanno permesso di ripartire il consumo dei singoli dispositivi nelle ore totali di utilizzo. Analizzando l'orario di apertura della struttura e il periodo di attività annuale dell'edificio, si è stabilito che, mentre la palestra viene usata 230 giorni l'anno, per 16 ore al giorno, invece gli uffici sono vissuti per 276 giorni per 7 ore al giorno.

Una seconda fase di studio ha compreso un'analisi qualitativa dei risultati derivanti dal calco-



Grafici a torta sui consumi complessivi sostenuti per la palestra e per gli uffici



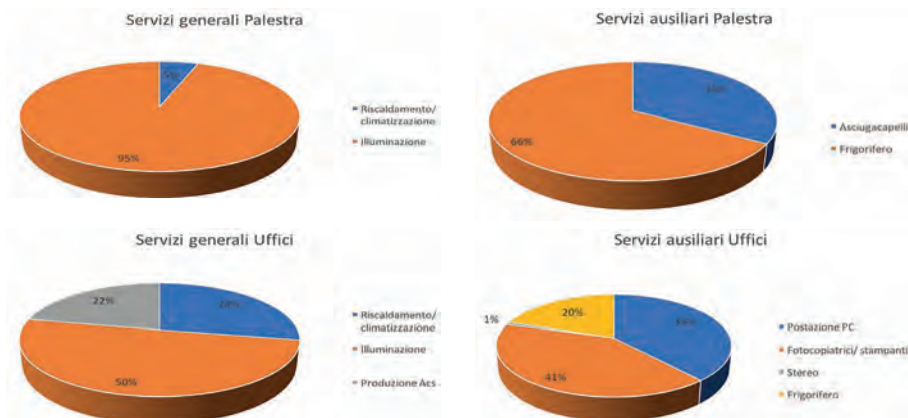
lo del consumo globale di energia elettrica. Per entrambi gli ambienti sono stati considerati: servizi generali, cui corrispondono l'illuminazione e la climatizzazione, che incidono pesantemente nel bilancio globale, e servizi ausiliari, ai quali fanno capo tutti gli apparecchi che forniscono un apporto minore in termini di dispendio energetico, ma che sono comunque strettamente legati all'attività svolta all'interno del fabbricato.

Dalla schematizzazione di quanto sopra detto si desume, per i servizi ausiliari, un consumo totale annuo di circa 1150 kWh, mentre per i servizi generali, un consumo totale annuo di circa 9000 kWh. Il totale globale dei consumi, tra palestra ed uffici, ammonta quindi a circa 10.000 kWh annui. Raggruppando le quote parte di energia consumata dagli apparecchi facenti parte della medesima tipologia di utilizzo, è possibile estrapolare uno schema riassuntivo sia per la scuola che per gli edifici, che possa evidenziare l'ordine di grandezza dei consumi e valutarne possibili anomalie. In alto, i grafici a torta evidenziano la situazione in termini di 'spesa' energetica per uffici e palestra, rispettivamente come servizi generali e ausiliari. I consumi complessivi mostrano come nella palestra l'illuminazione abbia un peso decisamente determinante per i servizi generali, mentre per quelli ausiliari i consumi si ripartiscono pressoché equamente tra frigorifero e asciugacapelli.

Per gli uffici, invece, dalla lettura dei risultati si evince un importante consumo di energia da parte dell'illuminazione, seguito da un pari consumo per la produzione di a.c.s. e per la climatizzazione. Per quanto concerne i servizi ausiliari, invece, un'importante fetta è rappresentata dall'utilizzo di computer e stampanti.

Si è reso necessario confrontare in maniera analitica i risultati degli studi, seguiti al sopralluogo ed alla elaborazione dei dati acquisiti, con i valori di consumo di energia elettrica reali, cioè derivanti dalle fatture delle bollette. Per una più completa analisi risulta preferibile possedere i dati delle bollette di più anni (in genere tre), ma in questo caso si è deciso di procedere in maniera puntuale, analizzando i dati delle fatture di un solo anno,

pagina a fronte
Diagrammi a torta sulle spese energetiche sostenute per servizi generali e ausiliari, nella palestra e negli uffici



cioè quello i cui dati in fase di acquisizione sono stati riconosciuti più completi, attendibili e compatibili con le attività delle utenze all'interno dell'edificio.

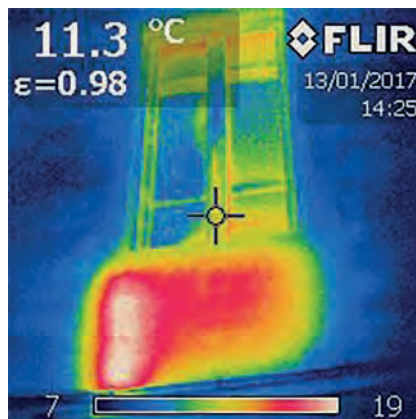
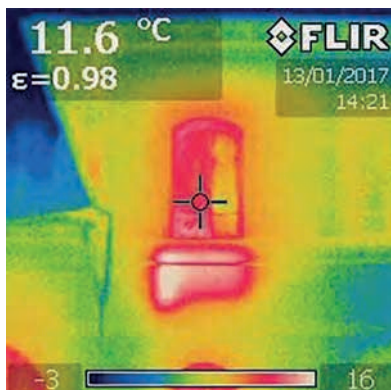
Nello specifico, essendo le due utenze completamente separate, sono stati elaborati e analizzati i dati delle fatture riguardanti anni campione diversi, scelta che si è rivelata la più consona per una corretta e coerente diagnosi (anche in relazione al fatto che le due utenze utilizzano fornitori tra loro differenti). I consumi complessivi, per anno scelto, ammontano a circa 8000 kWh per la palestra, nell'anno 2013 e circa 2500 kWh per gli uffici, nell'anno 2015. Confrontando i risultati del calcolo derivante dallo studio delle apparecchiature elettriche con i dati estrapolati dalle bollette, è possibile concludere che i consumi globali delle singole aree prese in considerazione rientrano nel range ammissibile, e i valori in termini di consumo elettrico si ritengono sovrapponibili. Per svolgere l'analisi dei consumi relativi alla fornitura del gas naturale, è stato necessario fare dei calcoli propedeutici alla verifica dei consumi misurabili relativi alla produzione di acqua calda sanitaria per le docce relative alla Palestra; è stata poi verificata l'effettiva corrispondenza con il dato emerso nella bolletta relativa alla fornitura dell'anno di riferimento (2015), e si è determinato che la spesa ammonta per questo stesso anno a circa 900 euro.

Analisi energetiche e ipotesi di intervento

Tramite termocamera, sono state emesse alcune criticità, in particolar modo in prossimità dei termosifoni posizionati nel sottofinestra. Questo è confermato dall'ispezione interna da



In alto, indagine termografica relativa al primo piano uffici, lato strada. In basso, indagine termografica relativa al piano primo uffici, lato strada.



cui si rileva una notevole riduzione dello spessore murario, sia al piano superiore, che nell'ufficio della palestra. All'esterno, la termografia evidenzia una notevole dispersione termica in prossimità di tali aree. In queste zone, la dispersione termica è dovuta all'assottigliamento dello spessore murario in corrispondenza delle finestre. Come intervento, si prevede quindi un sistema di regolazione del calore, mediante valvole termostatiche a dilatazione di liquido.

Nella palestra e nel cortile esterno ad essa si suggerisce la sostituzione delle lampade esistenti con tipologia a led ad alta efficienza ed analogo flusso luminoso. Per l'assottigliamento murario nel sottofinestra nella zona ufficio, si suggerisce la posa in opera di pannelli riflettenti e coibenti per limitare la dispersione dovuta alla minore sezione muraria. Attraverso un'analisi costi-benefici, si deduce che la sostituzione delle lampade comporta un risparmio annuo di quasi 1000 euro, e un tempo di ritorno economico inferiore ai 2

anni. Per quanto riguarda invece l'installazione nei sottofinestra del cappotto interno, l'intervento viene stimato 250 euro, mentre per l'installazione delle valvole termostatiche si ipotizza un costo di 50 euro cadauna.

Considerato che il risparmio dovuto alla posa in opera del pannello e delle valvole termostatiche è quantificabile rispettivamente in 4% e 11%, si calcola tale risparmio sul totale delle spese effettivamente sostenute. Anche se tramite l'analisi costi-benefici il tempo di ritorno ammonterebbe a 10 anni, tale installazione è tuttavia consigliabile per diminuire le dispersioni di energia e aumentare il comfort ambientale.

Bibliografia

Conti P., Della Vista D., Fantozzi F., Fasano G., Grassi W., Manetti R., Menchetti E., Schito E., Signoretti P., Testi D., *Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile. Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario*, ENEA.

Grassi W., Testi D., Della Vista D., Menchetti E. 2009, *Simulazione del Comportamento Dinamico di Edifici Ospedalieri e Validazione*, Atti del III Congresso Nazionale AIGE, Parma.

Grassi W., Conti P., Testi D. 2011, Development of a Simple Transient Model for Radiant Heating and Cooling Systems and Coupling with Building Energy Simulation, Proceedings of the XXIX UIT Heat Transfer Conference, Torino.

Thumann A., Younger W. J. 2007, *Handbook of Energy Audits*, Seventh Edition.

Van Dijk H. A. L., Spiekman M. E. 2004, *Energy Performance of Buildings; Outline for Harmonised EP Procedures*, Rapporto finale del Progetto EU ENPER, TNO Building and Construction Research, Delft.





sopra
corridoio
posto
all'ingresso

Lucia Ceccherini Nelli e Alessandra Donato

sotto
prospetto
principale
della scuola
con vista
del giardino
annesso
Estratto da:
relazione
tecnica di
sintesi di
C. Cavallaro, G.
Cavallaro, D.
De Simone, I.
Kleva,
C. Oterbo,
C. Sojjaric,
G. Virecci Fana

Il caso studio di seguito descritto riguarda l'intervento di diagnosi energetica, redatto sulla base di dati ed elementi reperiti in fase istruttoria, della scuola secondaria di primo grado 'G. Verdi', risalente agli anni '70 e sita a Firenze. Tale scuola è posta nella zona di San Jacopino, a nord di Firenze, ed è circondata da una serie di alberi che hanno una funzione, oltre che estetica, di schermatura dell'edificio nelle ore più calde della giornata.

Il seguente lavoro riassume la relazione tecnica dell'audit energetico realizzato per migliorare le prestazioni dell'immobile; esso si compone, come i precedenti lavori, di più parti.

La prima parte descrive l'immobile nelle sue componenti costruttive, e lo analizza dal punto di vista climatico tramite software Termus.

Attraverso sopralluogo, sono stati rilevati tutte le apparecchiature che nella scuola contribuiscono a costituire la 'spesa' economica; per ciascun componente dell'impianto di illuminazione e di riscaldamento è stato così possibile consultare le relative schede tecniche e dedurre quindi le potenze nominali.

La seconda parte del lavoro è consistita nel dedurre la classe energetica dell'edificio, tramite il software Termus; ad essa è stata poi associata l'individuazione di quelle che sono le 'perdite' energetiche. Conoscere le criticità ha consentito di focalizzare l'attenzione sulla terza fase del lavoro: la proposta progettuale.

Dal momento che la committenza ha richiesto interventi a basso costo, si è proceduto con il discriminare quelli che, anche se appropriati, non fossero indispensabili; si è ritenuto infatti che qualsiasi intervento migliorativo, applicato alla struttura e agli impianti, avrebbe portato benefici sia in termini di benessere e comfort abitativo, che in bolletta.

Stato di fatto

La struttura dell'edificio si sviluppa attorno a un atrio centrale, sul quale si affacciano i diversi ambienti con una distribuzione a spina di pesce: al piano terra troviamo la sala docenti, locali mensa, aule, servizi, palestra con annessi servizi ed un auditorium, al primo piano aule, laboratori per attività pomeridiane, servizi e gli uffici della dirigenza scolastica.



*In senso orario
dall'alto verso il
basso*

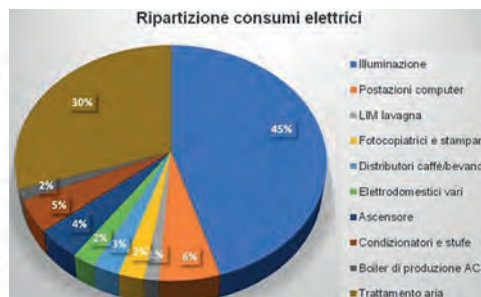
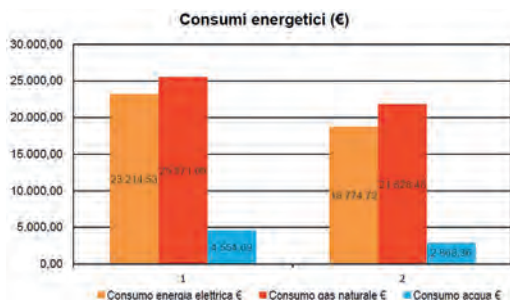
**Sala mensa e
sala docenti,
terminale di
erogazione del
calore in ghisa
e climatizzatore
portatile**



La copertura piana, praticabile, dà accesso ad alcuni dei locali macchine della scuola, mentre altri sono posti nel piano seminterrato ed altri ancora in un locale sottoscala dell'auditorium. Internamente, i due piani sono collegati tramite tre corpi scala, dei quali uno è dotato di ascensore. All'esterno invece, vi sono cinque corpi scale utilizzati come via di fuga; un corpo scala dà accesso ad uno spazio utilizzato per le attività esterne alla scuola. A seguito del sopralluogo, e da una verifica effettuata dall'ufficio tecnico del Comune di Firenze, è stato desunto che le utenze elettriche della scuola e del centro sociale sono alimentate da un'unica centrale di distribuzione. Stesso ragionamento vale per l'impianto erogatore di gas. per quanto riguarda il riscaldamento degli ambienti: una caldaia alimentata a gas naturale distribuisce calore attraverso terminali in ghisa, colorati e di diverse dimensioni. L'auditorium e la palestra sono invece riscaldati attraverso due distinte unità di trattamento aria. Per l'acqua calda sanitaria vi sono due caldaie, una posta nel locale macchine al piano seminterrato, l'altra utilizzata in primavera ed

*pagina a fronte
sopra a sinistra*
**Grafico sui
consumi
energetici tra
energia elettrica,
gas naturale e
acqua, afferiti
all'anno 2015**

*sopra e in basso
a destra*
**Grafici sulla
ripartizione dei
consumi elettrici**



Ripartizione consumi elettrici	consumo totale
	kWh
Illuminazione	49955
Postazioni computer	636
LIM lavagna	1552
Fotocopiatrici e stampanti	2683
Distributori caffè/bevande	28
Elettrodomestici vari	2415
Ascensore	4678
Condizionatori e stufe	4904
Boiler di produzione ACS	16
Trattamento aria	3308
	110159

estate, posta in un locale macchine sulla terrazza. La struttura portante dell'edificio è intelaiata in cemento armato, mentre le murature di tamponamento sono del tipo 'a cassetta' senza interposto isolamento. I solai sono realizzati in latero-cemento. Gli infissi sono in alluminio, senza taglio termico e con vetro singolo.

Analisi energetica e VAN

Dopo aver censito tutti i terminali degli impianti di riscaldamento, quelli antincendio, e quelli legati all'illuminazione, attraverso il software Termus, è stata determinata la classe energetica dell'edificio, che risulta essere a cavallo tra la 'C' e la 'D'. Sono state individuate tre distinte tipologie di perdite energetiche: alta trasmittanza dell'involucro non isolato, infissi in alluminio non a taglio termico e con vetro singolo, e tubazioni impianti non coibentate. Tramite l'analisi delle bollette risalenti al triennio precedente a quello di rilievo (2017), si è rilevato che i consumi elettrici e termici, riferiti all'anno 2015, ammontavano a circa 50.000 euro.

Vista la spesa troppo elevata per le amministrazioni, sono state allora vagliate alcune proposte di miglioramento dello stato di fatto; tali proposte possono essere suddivise in due branche di intervento: su impianti e sull'involucro edilizio. Come si può vedere sia dallo schema riportato sulla sinistra al centro, che dal grafico a torta in basso, la maggiore spesa è relativa ai consumi elettrici, in particolar modo all'illuminazione (45%). È qui, quindi, che occorre intervenire più massicciamente.

La proposta di intervento prevede la sostituzione di tutte le lampade a neon ed alogene con lampade a led; in tal modo, il risparmio, in termini di consumi energetici, è pari a circa 5.200 euro. Il tempo di ritorno dell'investimento è stimato in 4 anni. In merito invece al consumo dell'impianto di riscaldamento e produzione di ACS, durante l'anno 2014, la maggiore spesa è attribuita al sistema di riscaldamento. Si denota il buon uso della doppia caldaia: la prima, di potenza maggiore, viene utilizzata nei mesi invernali, sia per riscaldamento che per l'ACS, mentre l'altra, di potenza inferiore, viene avviata dalla primavera all'estate.

Alla luce di queste considerazioni, si propone l'installazione di valvole termostatiche e contabilizzatori di calore di tipo indiretto per regolare le temperature, a seconda del vero fabbisogno energetico. L'applicazione dei contabilizzatori di calore permette di responsabilizzare l'utente nella regolazione della temperatura a cui vengono impostate le valvole termostatiche; inoltre, permette di misurare l'effettivo consumo di ogni singolo ambiente, sommando i valori forniti dai singoli contabilizzatori.

Nel caso attuale, la regolazione climatica avviene con sonda inserita nell'atrio; ciò falsa di molto il reale fabbisogno interno alle aule per differenza di volumetria e di apporti interni, con una conseguente dispersione energetica. Ne risulta quindi una temperatura superiore a quella necessaria nelle aule e, dunque, un maggior consumo.

Il risparmio calcolato deriva in larga parte anche dalla differenza del valore di rendimento di regolazione.

Per ragionare a livello più completo, si è ipotizzato di sostituire gli infissi di aule ed uffici della scuola, per un totale di spesa pari a circa 27.000 euro, con un tempo di ritorno dell'intervento pari a circa 12-13 anni.

Grazie al Conto Termico 2.0, in vigore dal 31 maggio 2016, è possibile ottenere delle riduzioni sotto forma di incentivi.

Nel caso specifico, rientrando le tipologie di interventi considerati tra quelli ammissibili per procedere alle agevolazioni, si stima una riduzione dei tempi di ammortizzamento degli investimenti pari a: tre anni (per l'installazione delle valvole termostatiche e dei contabilizzatori del calore), quattro anni (per la sostituzione di lampade attuali con lampade a scarica), e quattordici anni (per la sostituzione degli infissi delle aule e degli uffici).

Bibliografia

Caredda F. V. 2009, *Analisi e Confronto di Sistemi per Produzione di Acqua Calda Sanitaria*, Tesi di Laurea Specialistica, Università degli studi di Cagliari, Cagliari.

Duffie J.A., Beckman W. A. 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, INC.

Fabrizio E., Filippi M., Virgone J. 2009, *An hourly modeling framework for the assessment of energy exploitation and energy converters selection and sizing in buildings*, Energy and Buildings, pp. 1037-1050. Fabrizio E. 2011, *Feasibility of polygeneration in energy supply systems for health-care facilities under the Italian climate and boundary conditions*, Energy for Sustainable Development, pp. 92-103.

Judkoff R., Neymark J. 1995, International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Boulder Colorado, USA.

Vio M. 2009, *Impianti di Cogenerazione*, Editoriale Delfino.

Biografie



Arch. Prof. Giuseppe Ridolfi

Architetto, dottore di ricerca, professore associato alla Scuola di Architettura e membro del Collegio di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze. Ha svolto e svolge attività di ricerca e didattica in ambito nazionale e internazionale sui temi della progettazione tecnologica e ambientale, project management, BIM & parametric computation, visual design, new media art, multimedia & interactive installations. Ha svolto attività progettuale per opere complesse e pianificazione di sistemi strutturali scolastici, universitari, socio-assistenziali e ospedalieri. È stato consulente per Amministrazioni Pubbliche e i Ministeri della Sanità e dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per cui ha anche sviluppato linee guida per la progettazione e sistemi informatici di valutazione edilizia e della qualità architettonica. I suoi lavori sono oggetto di pubblicazioni e parte della collezione permanente del «Museo del Novecento» di Firenze. È direttore del laboratorio congiunto Imprese-Università Mailab. biz – Multimedia Architecture Interaction.



Ing. Alessandra Donato

Laureata in Ingegneria edile-architettura, consegue il titolo di MsC in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente ABITA presso l'Università di Firenze nel 2012. Dal 2016 è Dottore di Ricerca in Tecnologie dell'Architettura. È Assegnista di Ricerca, presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze nell'ambito di attività di ricerca relative allo sviluppo e alla valutazione delle prestazioni energetiche di componenti di facciata innovativi mediante misure strumentali per il contenimento dei consumi energetici in edilizia. Collabora, con il Centro Interuniversitario ABITA, su progetti di ricerca internazionali nel settore dell'architettura bioclimatica e delle tecnologie innovative per l'ambiente. Dal 2017 è docente a contratto al Master di II livello ABITA e al corso di Tecniche del Controllo Ambientale nel Laboratorio di Architettura e Ambiente, della Facoltà di Firenze.



Arch. Prof.ssa Antonella Trombadore

Professore a contratto presso l'Università di Firenze, dal 1999 svolge attività di ricerca e progetto presso il Dipartimento di Architettura e il Centro Interuniversitario ABITA. Architetto, Dottore di Ricerca in Tecnologie architettoniche dell'Università di Firenze, Master in Energy Management. Dal 2013 collabora con la SAR (Regione Autonoma della Sardegna), all'interno del progetto FOSTER in MED. Consulente per la Regione Toscana e direttore RT Environmental Policy Energy and Climate Change, per la pianificazione europea HORIZON 2020 e INTERREG IT_FR. Dal 2015 collabora con l'Ente Parco dell'Asinara per la pianificazione e la fruizione responsabile delle isole minori. Co-fondatore e Direttore Tecnico dal 2014 della Società di ingegneria WAVES Lab e socio-economico. Collabora con il Master "Sustainable design and technologies for built environment" presso l'Università di Firenze. Membro del WREN (World Renewable Energy Network), e autore di oltre 40 pubblicazioni.



Finito di stampare per conto di
didapress
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
Marzo 2018

La pubblicazione non vuole essere un manuale, ma prevede la descrizione di strumenti e l'applicazione di metodi di analisi da adottare sin dalle prime fasi di progetto. Il testo si compone in diverse parti che concorrono a suggerire come pre-requisito fondamentale a supporto delle scelte progettuali, l'utilizzo di modelli di analisi e simulazione energetica. La pubblicazione, nella prima parte, raccoglie alcuni contributi che trattano il tema dell'edificio ad energia quasi zero sviluppando l'aspetto tecnologico per gli edifici interattivi e dinamici fornendo una raccolta descrittiva di casi tecnologicamente avanzati. L'involucro dell'edificio è un elemento attivo che provvede automaticamente o autonomamente a trasformare le risorse ambientali esterne in sorgenti di energia per la climatizzazione interna; la facciata e la copertura sono gli elementi dove si sperimentano le possibilità e le applicazioni più interessanti, sia per la componente tecnologica che per quella architettonica. Viene in particolare messo in risalto il tema della simulazione energetica dinamica e parametrica applicata alla progettazione ambientale con il BIM come pre-requisito essenziale per la progettazione di edifici ad energia quasi zero. Nel saggio 'sull'Efficientamento energetico, certificazione e audit energetici', vengono analizzate le problematiche ambientali ed energetiche dei nuovi edifici e di quelli esistenti e del quadro normativo di riferimento in ambito di efficienza energetica in edilizia, introducendo il tema del comfort termoisolometrico e della sua valutazione attraverso gli strumenti di diagnosi e standard di valutazione. Un altro saggio è dedicato ai casi applicativi di Green design ed eco efficienza, finalizzati al turismo sostenibile, in particolare sono evidenziate esperienze progettuali realizzate per due isole in Toscana e Sardegna: Giglio e Asinara. La seconda parte del libro è rivolta ad attività di ricerca e progettazione sostenibile attraverso 11 tesi di master. 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 IN SERIE



9 788833 380100

€ 00,00