



EDIFICI STORICI

e sostenibilità, un binomio necessario, ma complesso: indicazioni legislative, linee guida attuative, concept energetico. Regole e ... deroghe

ELENA LUCCHI

La cultura della conservazione e della sostenibilità ambientale sono caratterizzate da radici comuni che, nel corso degli anni, hanno portato a una convergenza di obiettivi, prassi operative, metodi e strumenti operativi. Entrambi, infatti, hanno come oggetto di indagine il patrimonio culturale, ovvero un'importante "risorsa non rinnovabile" che deve essere valorizzata attraverso azioni compatibili con il suo valore storico. Più recentemente, il concetto di intervento sostenibile si è ampliato, introducendo i criteri di efficienza energetica e di comfort ambientale. Queste nuova visione ha reso particolarmente complesso l'intervento sul patrimonio antico, dove si richiede il rispetto e la valorizzazione delle qualità estetiche, materiche e spaziali, oltre che la compatibilità e la reversibilità degli interventi.

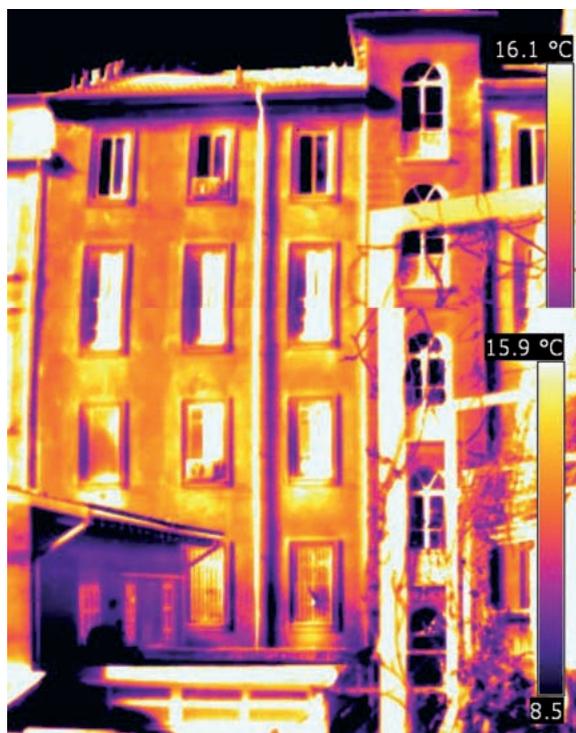
Foto in alto, esempio in clima temperato: struttura urbana compatta e colori chiari del centro storico di Granada (Spagna) per sfruttare i benefici del fenomeno "isola di calore" nel periodo freddo, di ombreggiamento reciproco e di ventilazione nel periodo caldo (foto Elena Lucchi).

A sinistra, strade strette e con curve a gomito realizzate a Barcelonnette (Francia) per limitare l'ingresso e l'intensità del vento (foto di Elena Lucchi).

A fianco, termografia a raggi infrarossi per individuare il distacco materico dell'intonaco della facciata (termogramma di Elena Lucchi).

A destra, strade strette, orientate rispetto alla direzione prevalente dei venti e costeggiate da una cortina continua di edifici a Ronda (Spagna) (foto Elena Lucchi).

In basso, gli insediamenti rupestri delle "Cave" Scicli (Italia) sono scavati nella roccia secondo piani che consentono l'ingresso dei raggi solari invernali e bloccano quelli estivi (foto di Elena Lucchi).



MODULO PAROLE CHIAVE

**PATRIMONIO STORICO – EFFICIENZA ENERGETICA – COMFORT AMBIENTALE – LEGISLAZIONE EUROPEA – LEGISLAZIONE ITALIANA –
 CONCEPT ENERGETICO – DIAGNOSI ENERGETICA – RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA - LINEE GUIDA PER L'USO EFFICIENTE DELL'ENERGIA
 NEL PATRIMONIO CULTURALE - A.T.T.E.S.S: MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICO-AMBIENTALI DELL'EDILIZIA STORICA
 SECONDO I CRITERI DELLA SOSTENIBILITÀ - EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI STORICI - TERMOGRAFIA A RAGGI INFRAROSSI
 - BLOWER DOOR TEST - PENETRANT TEST - ANALISI SONICA - ANALISI TERMOFLUSSIMETRICA - MONITORAGGIO ENERGETICO E
 AMBIENTALE - BLOWER DOOR TEST - RESPONSIBLE RETROFIT GUIDANCE WHEEL**

POSIZIONE RISPETTO AL VENTO



ACQUA E VEGETAZIONE



ORIENTAMENTO SOLARE



In alto, abitazione a corte araba (riad) realizzata su due livelli a Marrakech (Marocco). La presenza di patii o di corti a duplice altezza favorisce l'effetto camino e l'espulsione dell'aria calda verso l'alto (foto di E. Lucchi).

Al centro a sinistra, le fontane, gli specchi e le lamine d'acqua, grazie all'assorbimento termico della radiazione solare, creano moti convettivi dell'aria che, a loro volta, generano una ventilazione naturale particolarmente utile per raffrescare e umidificare in modo naturale (Granada, Spagna) (foto di E. Lucchi).

Al centro a destra, Nevera coperta da alberi per favorire l'ombreggiamento e ritardare lo scioglimento della neve (Alpe di Orimento, Italia) (Foto Lucia Aliverti).

In basso, la presenza dei portici caratteristica di molti centri storici italiani consente il riparo dalla pioggia e dalla radiazione solare (foto di Elena Lucchi).

Inerzia termica e ventilazione naturale sono i fondamentali “energetici” dell’edificio storico. Una corretta diagnosi e soluzioni flessibili consentono l’adeguamento alle esigenze contemporanee. Rispettandone le peculiarità architettoniche

In linea generale, l’edificio antico sfrutta l’inerzia termica delle murature, è costruito con materiali che trattengono un’alta percentuale di umidità, è concepito per essere traspirante al vapore e si avvale della ventilazione naturale per smaltire aria viziata e per raffrescare.

La conoscenza delle caratteristiche dell’immobile storico dovrebbe essere il punto di partenza per un corretto intervento. Il comportamento energetico e ambientale dell’edificio antico, infatti, è molto diverso da quello moderno, proprio perché la progettazione era basata sull’utilizzo delle risorse disponibili. Gli edifici antichi sono sviluppati a partire da uno stretto legame con l’ambiente naturale, basato sullo studio di caratteristiche geometriche, variabili climatiche (pressione atmosferica, stato termico e umidità relativa dell’atmosfera, stato del cielo, regime dei venti, precipitazioni, radianza diretta e diffusa, ...), parametri geografici (latitudine, rapporto tra massa di terra e superficie d’acqua, altezza sopra il livello del mare), topografici (altezza, orientazione e struttura del suolo del luogo, direzione dei venti prevalenti) e biologici (caratteristiche della flora e della fauna locali). I criteri costruttivi erano basati su elementi comuni e ripetibili per i diversi climi, quali:

- conformazione urbana compatta, utilizzata per la difesa dal caldo e dal freddo;

- posizione rispetto alla direzione prevalente del vento;
- orientamento ottimale rispetto al sole per sfruttarne i benefici di riscaldamento passivo;
- protezione climatica selettiva ottenuta con la vegetazione naturale, per garantire ombreggiamento solare e convogliamento dell'aria nei climi caldi, e difesa dal vento in quelli freddi;
- colore delle finiture superficiali di edifici e pavimentazioni scelto per massimizzare i fenomeni di accumulo e di riflessione solare, rispettivamente nei climi freddi e caldi;
- attenuazione dei picchi termici ottenuta con l'evaporazione dell'acqua.

In linea generale, l'edificio antico sfrutta l'inerzia termica delle murature, è costruito con materiali che trattengono un'alta percentuale di umidità, è concepito per essere traspirante al vapore e si avvale della ventilazione naturale per smaltire aria viziata e per raffrescare.

Con l'avvento dell'epoca industriale, il rendimento superiore dei combustibili fossili rispetto alle fonti fino ad allora utilizzate ha contribuito a diffondere l'idea che l'energia sarebbe stata inesauribile, a basso costo e priva di ricadute negative. Per questo, il benessere microclimatico è stato sempre maggiormente garantito dalla presenza di impianti di climatizzazione (prima di riscaldamento e più recentemente di raffrescamento), di isolamento termico e di sistemi di impermeabilizzazione (mediante barriere al vapore, guaine, membrane...). Per questo, gli interventi di efficientamento adatti per un edificio di nuova progettazione possono essere inadeguati o addirittura deleteri per uno antico.

Dall'alto: in clima freddo: struttura urbana compatta e abitazioni accostate tra loro a Premosello Chiovenda in Val d'Ossola (Italia) per ridurre gli scambi termici per conduzione (foto di E. Lucchi).

in clima caldo: struttura urbana compatta, contatto diretto con il terreno e l'inserimento nella roccia delle città sotterranee della Cappadocia (Turchia) per aumentare l'inerzia termica degli edifici e sfruttare i benefici di raffrescamento passivo (foto di E. Lucchi).

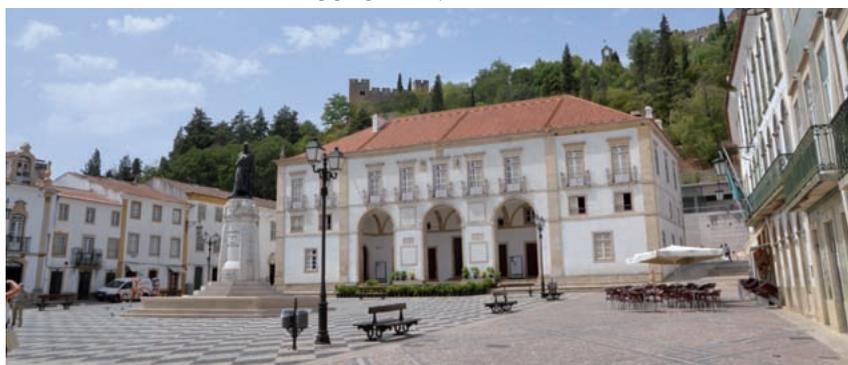
Pavimentazione di colore chiaro per limitare il surriscaldamento e l'innalzamento della temperatura dell'aria a Tomar (Portogallo) (foto di E. Lucchi).

Trullo pugliese (Alberobello, Italia) con pareti massive in tufo intonacate con malte a base di calce o gesso dai colori chiari che, oltre a riflettere il calore del sole, garantiscono un'azione battericida e fungicida (foto di E. Lucchi).

CONFORMAZIONE URBANA COMPATTA



COLORI E MATERIALI



LEGISLAZIONE DI RIFERIMENTO

Commissione Europea, Direttiva, Direttiva 2002/91/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio della prestazione energetica degli edifici. Commissione Europea, Direttiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo e del Consiglio della prestazione energetica degli edifici (recast).

Commissione Europea, Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio 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, 25 ottobre 2012.

Comunicazione della Commissione del 3 marzo 2010, "Europa 2020: una strategia per una crescita intelligente, sostenibile, inclusiva", Bruxelles, 2010. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Decreto Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".

Decreto del Presidente Della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettera a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia".

Legislazione europea

La legislazione relativa all'efficienza energetica si è sviluppata a partire dall'ultimo decennio, seguendo binari paralleli a livello europeo e nazionale. La tematica è piuttosto complessa e, purtroppo, non sempre è supportata da politiche legislative e da misure di incentivazione coerenti e operative.

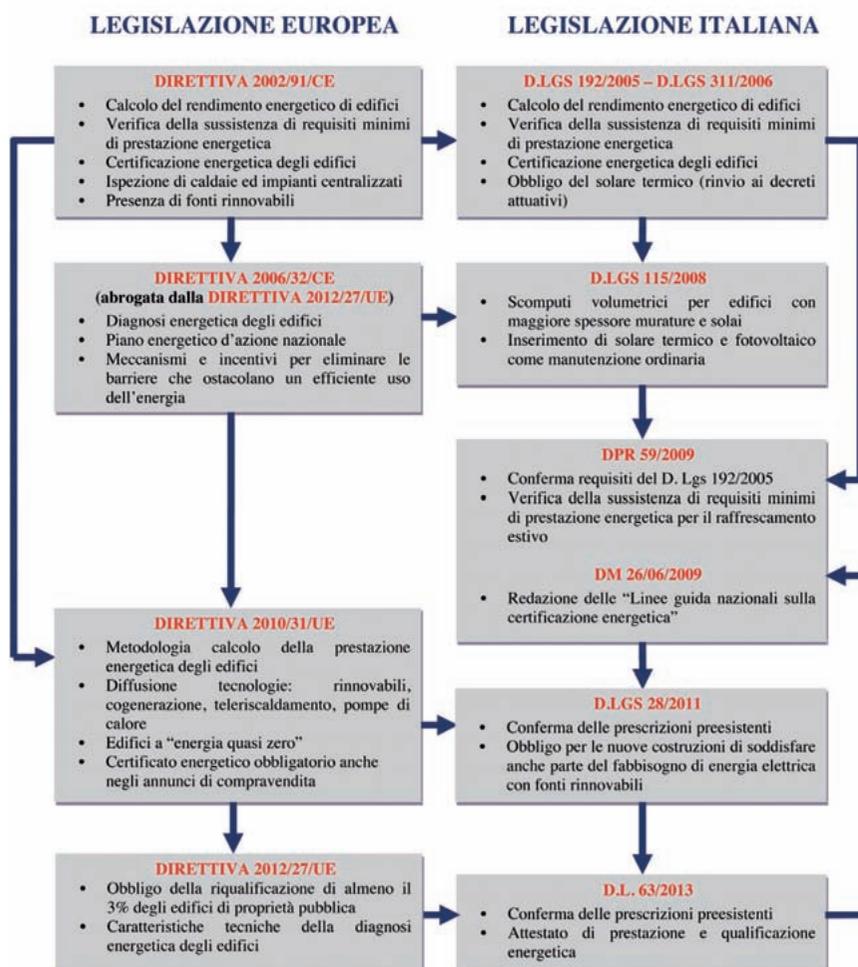
A livello europeo, il tema è affrontato dalle direttive sull'efficienza energetica degli edifici (2002/91/CE; 2010/31/UE; 2012/27/UE). Le prime due contengono disposizioni riguardanti una metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, l'applicazione di requisiti prestazionali minimi, l'obbligatorietà della certificazione energetica e dell'ispezione periodica delle caldaie. La terza rafforza ulteriormente gli obiettivi di efficienza e di riduzione delle emissioni di gas serra, stabilendo un progressivo

aumento del tasso delle ristrutturazioni immobiliari. Le direttive introducono solo i principi di massima relativi agli interventi su immobili storici, demandando poi alle legislazioni locali l'attuazione di politiche coerenti con le culture nazionali sul restauro architettonico. In linea generale, i beni ufficialmente protetti in funzione dell'interesse storico-architettonico sono esclusi dall'applicazione delle direttive, mentre gli immobili storici non vincolati sono interamente sottoposti a questi dettami.

Legislazione nazionale

In Italia le legislazioni sulla tutela del patrimonio culturale e sull'efficienza energetica degli edifici sono completamente scollegate. La prima, infatti, non considera questo tema, delegandolo a normative del settore energetico. Queste ultime sono l'esito di un impianto normativo disomogeneo, ampiamente modificato negli ultimi decenni da continue riprese e correzioni e ancora privo delle connessioni tra vari dispositivi. In linea di massima, l'apparato giuridico nazionale riprende le

Quadro della legislazione di riferimento in materia di efficienza energetica degli edifici storici.



Sintesi delle principali verifiche da eseguire negli interventi sul patrimonio esistente secondo il D.Lgs. 192/2005 e s.m.i.		
Tipo di intervento	Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti; Ristrutturazione integrale involucro edilizio (sup. utile >1.000 m ²); Ampliamentovolumetrico (>20% volume)	Ristrutturazione totale o parziale Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria dell'involucro (superficie. utile ≤ 1.000 m ²)
Verifiche da effettuare	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (Epi<Epi limite) (La Epi indica il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, ovvero la prestazione energetica del sistema edificio-impianto per il solo riscaldamento, mentre la sigla Epi,lim indica il limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale imposto per legge per nuove costruzioni o per le ristrutturazioni importanti di edifici non soggetti a vincolo); Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva dell'involucro edilizio (Epe invol ≤ Epe invol limite); Valori minimi di trasmittanza termica per i muri divisorii; Assenza di condensa nelle pareti; Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche; Regolazione termica interna; Opere per favorire il teleriscaldamento; Inerzia termica dell'involucro opaco (residenze).	Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche; Valori minimi di trasmittanza termica per gli elementi di involucro esterno e per muri divisorii; Assenza di condensa nelle pareti; Inerzia termica dell'involucro opaco, solo per le residenze.

Fonte: E. Lucchi, V. Pracchi, a cura di, *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2013.

disposizioni europee, dividendo gli edifici esistenti in due categorie: i "beni tutelati" e tutti gli "altri edifici". I primi sono esclusi dall'obbligo di rispetto dei requisiti di efficienza energetica nei casi in cui si possa avere un'alterazione inaccettabile del carattere o dell'aspetto storico. La legge si rifà a una valutazione di tipo qualitativo, demandando però agli operatori del settore la valutazione di cosa possa essere considerata "alterazione inaccettabile".

Al patrimonio edilizio storico non tutelato, invece, è chiesto di raggiungere prestazioni molto simili alla nuova costruzione in fatto di riduzione delle perdite per trasmissione (quando si interviene su un singolo componente) e del fabbisogno energetico (quando si agisce sull'intero edificio). In pratica, quando viene realizzato un intervento "importante" (demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria, ristrutturazione, l'ampliamento di ampie parti edilizie) si chiede un intervento globale, che coinvolge l'intero edificio. Al contrario, quando si fanno piccole opere di ristrutturazione o di ampliamento, è possibile intervenire solo sull'involucro edilizio con l'ausilio di misure passive (ad esempio l'impiego di misure

bioclimatiche, l'assenza di condensa nelle pareti, l'inerzia termica dell'involucro opaco, ...).

Linee guida

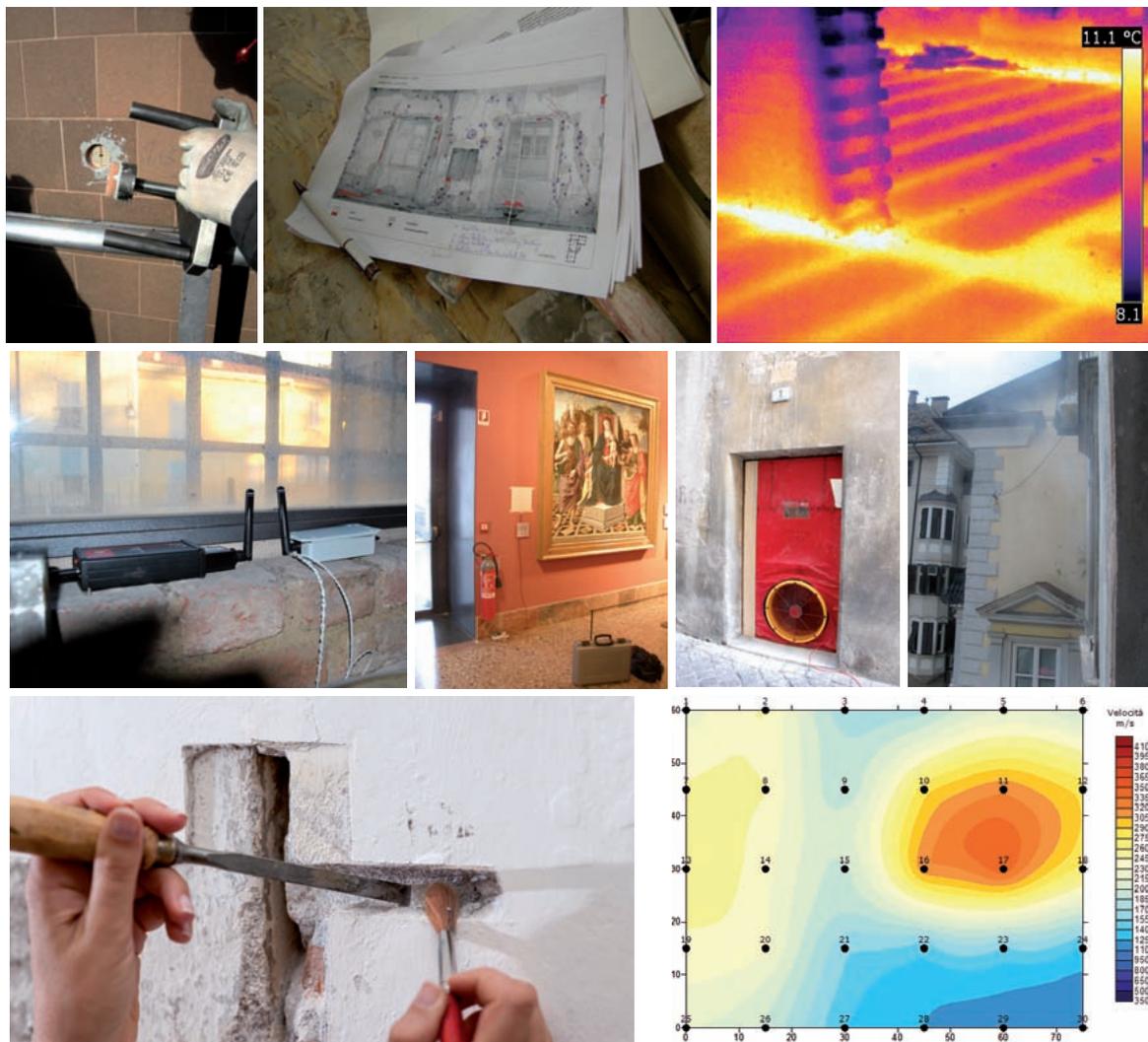
Fondamentale è la realizzazione di linee di indirizzo che guidano il progettista nel rispetto delle normative. A livello nazionale sono stati costituiti dei tavoli di lavoro del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) per l'elaborazione delle "Linee Guida per l'uso efficiente dell'energia nel patrimonio culturale", di cui è attesa da molto tempo l'approvazione della versione definitiva. In parallelo, sono state prodotte una serie di linee guida, tra cui si citano quelle del progetto "A.T.T.E.S.S: miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali dell'edilizia storica secondo i criteri della sostenibilità", promosso ed elaborato dalla Direzione regionale del Veneto con i Metadistretti Veneti dei Beni Culturali e della Bioedilizia, le Linee Guida AICARR sul "Efficienza Energetica negli Edifici Storici" prodotte in collaborazione con il MiBACT e i lavori per la definizione del protocollo di certificazione volontaria GBC HistoricBuildingTM per il livello di sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici.

La fase propedeutica all'intervento di riqualificazione energetica deve essere affiancata da valutazioni di merito storico, materico e artistico

La base per definire l'intervento su un edificio storico è costituita da un'approfondita diagnosi delle caratteristiche storiche, materiche, artistiche ed energetiche. Una corretta prassi operativa prevede l'integrazione tra le tecniche di restauro conservativo, diagnosi energetica, valutazione prestazionale e analisi del comfort, al fine di restituire una visione complessiva dello stato di conservazione dell'immobile anche per quanto concerne gli aspetti legati al degrado, alle prestazioni in essere e alle possibilità di intervento. Si tratta di una "procedura sistematica" che consente di conoscere le caratteristiche e i problemi dell'edificio, nell'ottica di definire gli interventi di riqualificazione energetica, ambientale, spaziale più opportuni. In linea di massima si compone di quattro fasi che riguardano:

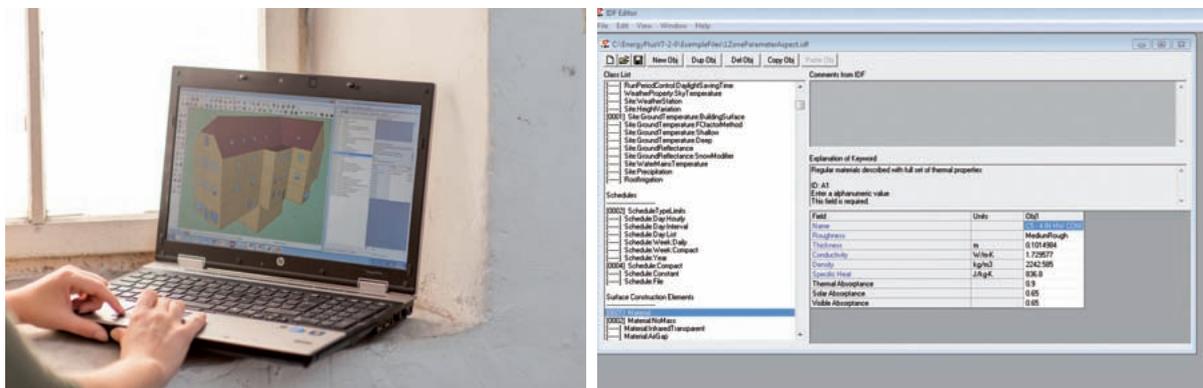
- raccolta delle informazioni relative agli aspetti edilizi, impiantistici e gestionali;
- realizzazione del modello fisico dell'edificio, con particolare attenzione alla modellazione energetica;

DIAGNOSI ENERGETICA STRUMENTALE



In alto a sinistra, analisi della stratigrafia della pareti con test debolmente distruttivi (foto di Florian Berger/ EURAC). Al centro, rilievo geometrico e conservativo dell'edificio (foto di E. Lucchi). A destra, termografia a raggi infrarossi per individuare la conformazione e i materiali utilizzati in una soletta storica (termogramma di E. Lucchi). Al centro le prime due a sinistra, Termoflussimetria per misurare la trasmittanza termica delle pareti (foto di E. Lucchi). Al centro, Blower Door Test per quantificare le infiltrazioni d'aria dell'edificio (foto di Dagmar Exner). A destra, Penetrant test per localizzare discontinuità, cricche, porosità e ripiegature (foto di Francesca Roberti). In basso, analisi della stratigrafia della pareti con test distruttivi (foto di E. Lucchi). A destra, analisi sonora per individuare l'omogeneità della parete (elaborazione di E. Lucchi).

DIAGNOSI ENERGETICA STRUMENTALE



A sinistra, simulazione del comportamento energetico dell'edificio con il software E+ (foto di Florian Berger/EURAC).
A destra, simulazione del comportamento energetico dell'edificio con il software E+ (Elaborazione di Francesca Roberti).

- individuazione degli interventi migliorativi più opportuni per risolvere i problemi spaziali, funzionali, energetici e gestionali;
- valutazione tecnica ed economica della fattibilità degli interventi proposti.

Il rilievo geometrico è essenziale nelle operazioni diagnostiche, in quanto fornisce i dettagli strutturali e identifica gli elementi sui quali concentrare le indagini più approfondite. Questa fase deve essere accompagnata da un'analisi documentaria dell'evoluzione storica della struttura, atta a giustificare la presenza di determinate tecnologie, materiali, modalità di posa in opera, disomogeneità e danneggiamenti. I dati relativi alla gestione, allo stato di conservazione, al funzionamento impiantistico e alla presenza di eventuali degradi possono essere ottenute mediante un esame visivo.

La raccolta delle informazioni termo fisiche può avvenire attraverso l'impiego delle tecniche non distruttive, quali la termografia a raggi infrarossi, il Blower Door Test, il Penetrant Test, l'analisi sonora, l'analisi termo flussimetrica e il monitoraggio energetico e ambientale. La termografia consente di mappare la temperatura superficiale apparente dei corpi, misurando la radiazione infrarossa emessa. La presenza di anomalie nella distribuzione termica superficiale denuncia l'esistenza di problematiche strutturali, energetiche, conservative e impiantistiche nell'edificio, legati alla stratigrafia della parete, alle caratteristiche fisiche dei materiali, allo stato di conservazione, alle tecniche di posa, alla presenza di infiltrazioni d'aria, acqua, germinazioni microbiche, umidità interstiziale, distacchi superficiali, malfunzionamenti degli impianti di climatizzazione, inefficienza dei sistemi solare fotovoltaico e termico. L'analisi può essere supportata dal Blower Door Test per quantificare le infiltrazioni d'aria provenienti dai diversi componenti edilizi. Parallelamente, l'esame con liquidi penetranti è utilizzato per ispezionare l'integrità superficiale del bene attraverso la localizzazione di discontinuità, cricche, porosità e ripiegature. Le indagini soniche, attraverso la conoscenza delle modalità di propagazione delle onde elastiche nei corpi solidi, permettono di conoscere l'omogeneità di una parete e, quindi, di capirne i materiali costituenti. L'analisi termo flussimetrica rileva il valore della resistenza e della conduttanza dell'involucro opaco dell'edificio. Infine, il monitoraggio ambientale può fornire informazioni oggettive sulle reali modalità di utilizzo dell'edificio da parte degli utenti, specie per quanto riguarda le temperature operanti e il funzionamento degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva.

Attualmente esistono molti software per analizzare il comportamento energetico di un immobile. I sistemi hanno livelli di accuratezza differenziati in base alla finalità dell'indagine, alla sofisticazione degli algoritmi di calcolo, all'utenza cui si rivolgono, alla modalità di introduzione dei dati, alla tipologia di risultati prodotti, alla possibilità di simulare specifiche condizioni architettoniche, etc.

Le procedure attualmente in uso e, di conseguenza, i software di simulazione sono basati su due modalità distinte di calcolo energetico:

- calcolo in regime quasi stazionario, effettuato su base mensile o stagionale, che prevede semplificazioni

nell'introduzione delle informazioni relative agli scambi termici che interessano l'edificio;

- calcolo in regime dinamico che considera intervalli di tempo brevi al fine di tenere conto del calore accumulato e rilasciato dalla massa dell'edificio.

I metodi operanti in regime stazionario si basano su procedure e su banche dati definite dalla normativa nazionale (Norma UNI TS 11300, 2008) e, per questa ragione, sono ampiamente utilizzati per certificare il comportamento e per attestare la classe energetica degli edifici. Per il patrimonio storico sono poco attendibili, specialmente per quel che concerne l'involucro edilizio. I dati relativi alle caratteristiche e alle prestazioni termofisiche del sistema edificio-impianto devono essere misurati attraverso indagini diagno-

Campi di indagine delle tecniche di analisi diagnostica strumentale di tipo non invasivo applicate alla diagnosi energetica degli edifici

Esame visivo	
Struttura costruttiva	Fessurazione, cedimento e stato di conservazione
Involucro opaco	Spessore delle sezioni murarie
	Germinazione batteriologica, efflorescenza superficiale, muffa e funghi
	Degrado, rigonfiamento, distacco e fessurazione dell'intonaco e delle finiture superficiali
	Degrado dell'isolamento termico e acustico
	Condensa, umidità superficiale e interstiziale
	Aumento dello spessore della muratura
Involucro trasparente	Stato di conservazione e funzionamento
	Infiltrazione d'aria
	Infiltrazione di acqua
	Rottura di vetri e telai
Impianto di climatizzazione	Efficienza del generatore di calore
	Efficienza e sicurezza dell'impianto meccanico
	Omogeneità di funzionamento dei terminali scaldanti
	Perdita e infiltrazione d'acqua dai terminali di emissione
	Perdita igrometrica dalle tubazioni
	Presenza della documentazione obbligatoria
	Rispetto della normativa in fatto di verifiche e controlli
Impianto elettrico	Efficienza e sicurezza dell'impianto elettrico
	Efficienza delle sorgenti luminose
Fonti energetiche rinnovabili	Pulizia e manutenzione dei pannelli
	Efficienza e funzionamento dei pannelli
Analisi termografica a raggi infrarossi	
Struttura costruttiva	Fessurazioni e cedimenti strutturali
	Ponti termici di forma e di materia
Involucro opaco	Stratigrafia dell'involucro opaco
	Irregolarità nella posa dei materiali costruttivi
	Degrado, distacco, rigonfiamento e fessurazione nell'intonaco e delle finiture superficiali
	Degrado dei diversi strati interni
	Infiltrazione d'aria
	Germinazione batteriologica, efflorescenza superficiale, muffa e funghi
	Infiltrazione, risalita capillare, assorbimento e percolazione di acqua
	Umidità superficiale e interstiziale
	Emissività dei materiali
Isolamento termico	Presenza o assenza di materiale isolante
	Irregolarità nella posa del cappotto e dell'isolamento termoacustico
	Disuniformità e degrado dell'isolamento termico
	Umidità interstiziale
Involucro trasparente	Differenze di resistenza termica tra i componenti
	Errore nella posa di finestre o vetri
	Permeabilità e infiltrazione d'aria
	Assorbimento e infiltrazione d'acqua
Impianto di climatizzazione	Lubrificazione inadeguata
	Stato e condizioni di isolamento termico del mantello
	Efficienza di funzionamento
	Omogeneità di distribuzione termica nei generatori di calore
	Correttezza del montaggio del bruciatore

stiche da effettuare direttamente sul bene, a fronte però di tempi e costi abbastanza rilevanti. Le banche dati si riferiscono a pochi elementi costruttivi, troppo generici e poco rappresentativi delle strutture storiche, oltre che a materiali in perfetto stato di conservazione e tecniche costruttive moderne (in realtà gli immobili storici hanno spesso problemi di degrado, umidità interstiziale e superficiale, materiali misti e realizzazioni di diverse epoche storiche).

La modellazione energetica di tipo dinamico può fornire un valido contributo per selezionare gli interventi di efficientamento compatibili con il valore storico dell'immobile. Questi software sono basati su un approccio integrato volto a valutare l'intero sistema edificio-impianto dal punto di vista costruttivo

	Scarico dei fumi
	Funzionamento della valvola di miscelazione
	Differenza termica che si ha tra la temperatura di mandata e di ritorno
	Perdite di acqua
Sistema di distribuzione	Isolamento termico delle tubazioni
	Portata dell'acqua nel sistema di distribuzione
	Efficienza e stato di conservazione delle tubazioni
	Perdite d'acqua
Sistema di emissione	Efficienza di funzionamento dei terminali scaldanti e refrigeranti
	Temperatura di funzionamento
	Perdite d'acqua
Ventilazione meccanica controllata	Efficienza e sicurezza di funzionamento
	Infiltrazione d'aria
Impianto elettrico	Efficienza e sicurezza di funzionamento
	Allentamento o corrosione delle connessioni elettriche
	Stato di conservazione dei cavi scoperti
	Efficienza delle sorgenti luminose
	Infiltrazione d'aria dalle prese elettriche e degli apparecchi di illuminazione
Dispositivi inseriti nel contro-soffitto	Infiltrazione d'aria
Prese e placche elettriche	Infiltrazione d'aria
Fonti energetiche rinnovabili	Efficienza, pulizia e manutenzione dei pannelli
Ambiente interno	Omogeneità termica dell'aria
	Blower Door Test
Involucro opaco	Infiltrazione e fuga d'aria
	Permeabilità all'aria
	Ermeticità
	Stima del ricambio d'aria
Isolamento termico	Degrado dovuto a infiltrazione d'aria
Involucro trasparente	Permeabilità all'aria
	Infiltrazione d'aria
	Errore nella posa di finestre o vetri
Impianto di climatizzazione	Infiltrazione d'aria nel sistema di distribuzione e di emissione
	Corretta posa del sistema di emissione
Ventilazione meccanica controllata	Infiltrazione d'aria
Impianto elettrico	Infiltrazione d'aria dalle prese elettriche e dagli apparecchi di illuminazione
Analisi sonora	
Struttura costruttiva	Presenza di cavità, fessurazioni e disomogeneità strutturali
	Ponti termici di materia
	Controllo dei cedimento strutturale nel tempo
Involucro opaco	Morfologia della sezione muraria
	Presenza di vuoti, difetti o lesioni interne alla struttura muraria
	Resistenza della muratura
	Qualità dei giunti delle malte
	Omogeneità della parete
	Intervento di consolidamento
	Stima dell'ordine di grandezza della resistenza dei materiali
Isolamento termico	Mancanza dell'isolamento
	Irregolarità nella posa dell'isolamento
	Disuniformità e degrado nell'isolamento termico
Analisi termoflussimetrica	
Involucro opaco e trasparente	Prestazione di trasmittanza, di conduttanza e di resistenza termica

e gestionale in quanto analizzano simultaneamente i flussi termici, elettrici, luminosi, acustici, ventilativi, il comportamento e le modalità di utilizzo degli occupanti. I sistemi richiedono una perfetta conoscenza di dati geometrici, climatici, termo fisici e gestionali, molto difficilmente ottenibile per gli edifici esistenti. I problemi principali riguardano il reperimento dei dati termo fisici, che non possono essere recuperati attraverso le banche dati normative, gli abachi costruttivi e la letteratura di riferimento che risultano troppo generici. Inoltre, in molti dei casi neppure le analisi diagnostiche di tipo strumentale possono essere di aiuto nel reperimento di tutti i dati necessari per effettuare la simulazione. Ad oggi, comunque, la modellazione dinamica può essere utilizzata come strumento di confronto tra due scenari progettuali, al fine di definire i benefici legati a ciascuna tecnologia rispetto al fabbisogno energetico complessivo dell'immobile.

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

Esistono anche software che simulano il comportamento termoigrometrico delle pareti, come WUFI e Delphin, aiutando il progettista nella progettazione di nodi critici dell'involucro edilizio.

MONITORAGGIO ENERGETICO AMBIENTALE



A sinistra, monitoraggio della temperatura e dell'umidità interstiziale delle pareti (foto di E. Lucchi).

A destra in alto, monitoraggio della temperatura e dell'umidità relativa della testa delle travi (foto di Florian Berger EURAC). A destra in basso, monitoraggio della temperatura superficiale di un vetro (foto di Florian Berger/EURAC).

Riduzione delle perdite di calore, prestazione dei serramenti, adeguamento degli impianti, integrazione delle rinnovabili. Tecniche di gestione e di controllo. Un vademecum per la riqualificazione energetica dell'edificio storico

La logica di intervento deve partire dalla minimizzazione delle perdite per trasmissione attraverso le superfici opache (coperture, pareti, solette e basamenti) e dal miglioramento delle prestazioni dei serramenti in termini di dispersione per trasmissione e per ventilazione, per poi agire sugli impianti termici ed elettrici e sull'inserimento delle fonti rinnovabili. In tutte queste fasi, giocano un ruolo centrale le tecniche di gestione (sistemi di controllo, procedure di maintenance e di gestione) che permettono di conseguire significativi risparmi di energia. Un sistema didattico molto interessante è "Responsible Retrofit Guidance Wheel" (<http://responsible-retrofit.org/wheel>), che consente di vedere la compatibilità e gli impatti che nascono nell'applicare diversi interventi.

Isolamento delle superfici opache

Una prima forma di efficientamento energetico riguarda l'applicazione di un isolamento esterno o interno delle superfici opache. Sulle pareti storiche la tecnica è difficilmente applicabile, in quanto ne modifica l'immagine, la statica e la consistenza materica, risultando irreversibile e difficilmente compatibile con la tenuta meccanica e le caratteristiche chimico-fisiche della parete originaria. In linea generale, pur essendo difficilmente realizzabile, è conveniente per contenere i consumi energetici legati al riscaldamento nella stagione invernale, eliminare i ponti termici di materia, sfruttare pienamente le caratteristiche di inerzia termica di strutture massive e ridurre i rischi di condensa. L'isolamento dall'interno, pur essendo più facilmente applicabile, ha un beneficio energetico inferiore in quanto non elimina i ponti termici e non consente di sfruttare pienamente l'inerzia delle pareti massive. In entrambi i casi, per gli edifici storici è preferibile utilizzare materiali che garantiscono elevate prestazioni termiche e di trasmissione al vapore in spessori ridotti, come ad esempio i materiali a capillarità attiva, l'aerogel, le malte e le vernici nano polimeriche. Materiali ad alta capacità termica, come i *Phase Change Materials* e il legno, invece sono adatti per edifici a bassa inerzia, come pareti lignee e murature in laterizio di spessori ridotti, caratteristici dell'Architettura Moderna. L'isolamento di solette, basamenti e coperture prevede l'inserimento di materiale in intercapedine o l'applicazione di un controsoffitto isolato. Nel primo caso, il materiale di scarto che veniva utilizzato per irrobustire le solette può essere sostituito con isolante sfuso (vermiculite, perlite, argilla espansa) che ne garantisce la leggerezza e la staticità, pur aumentandone il potere fonoisolante. Nel secondo, quando non vi sono apparati decorativi particolari, è possibile inserire un controsoffitto isolante oppure recuperare i cannucciati storici con isolanti continui in bambù di nuova generazione. Le coperture possono anche essere isolate all'estradosso con tappetini e pannelli continui. Il rifacimento della copertura, invece, deve essere considerato un'opportunità solo in presenza di tetti fortemente degradati, dove non è più possibile migliorare le prestazioni con interventi di isolamento o di manutenzione. In tutti i casi, gli isolanti devono essere dotati di buone proprietà termofisiche e di trasmissione al vapore.

A sinistra, lavori di consolidamento di una parete storica per applicare l'isolamento dall'interno (foto di E. Lucchi).

Al centro, isolamento dall'interno di una parete storica (foto di Florian Berger/EURAC).

A destra, cannucciato storico costituito da una fitta rete di bambù (foto di Florian Berger/EURAC).



Miglioramento delle prestazioni delle chiusure esterne

Una seconda forma di efficientamento energetico riguarda il miglioramento delle prestazioni termo fisiche, della permeabilità all'aria e della schermatura solare dei serramenti esistenti. Le possibilità di intervento devono sempre essere bilanciate con la perdita del bene e comprendono la sostituzione del solo vetro, l'applicazione di pellicole basso emissive, l'aggiunta di un contro-vetro o di una doppia finestra, la sostituzione del serramento degradato, l'inserimento di tende pesanti o di scuri, la riparazione o il rifacimento di guarnizioni e sigillature. Alcune sperimentazioni inglesi (Essex Country Council Planning Department, 2000; English Heritage, 2009) hanno permesso di confrontare i benefici legati a tecnologie dotate di prestazioni diverse (tende pesanti in stoffa, persiane, tende a rullo, film isolanti basso emissivi fissati internamente o esternamente alla finestra e infine doppi vetri, miglioramento della tenuta all'aria, inserimento di doppio serramento). Il sistema tradizionale più efficace è costituito da una combinazione di scuri e doppi vetri (>70%), seguito da persiane esterne (>60%), veneziane riflettenti e schermature interne isolanti (50-60%) e tende pesanti (40-50%). Il doppio infisso, inoltre, ha prestazioni che raggiungono quasi quelle di un doppio vetro, mentre gli scuri raddoppiano l'efficienza di un vetro singolo. È da sconsigliare, invece, la sostituzione dei serramenti tradizionali con telai in materiali contemporanei (alluminio o PVC) che, oltre a stravolgere l'immagine estetica della facciata, genera emissioni ambientali durante il ciclo di produzione superiori rispetto ai benefici energetico conseguenti.

Inserimento di nuovi impianti di climatizzazione ambientale

Un'altra forma di efficientamento energetico è legata la sostituzione o l'inserimento di nuovi impianti di climatizzazione invernale. In questo caso, oltre all'obiettivo principale del miglioramento energetico, vi sono quelli di benessere delle persone e di limitazione delle escursioni termo igrometriche per avere le migliori condizioni conservative di materiali, finiture e manufatti. Più che il generatore di calore, ubicato in un luogo specifico dell'immobile storico, è importante scegliere un idoneo terminale scaldante. I sistemi più diffusi sono i radiatori, i ventilconvettori e il riscaldamento ad aria calda, che possono essere recuperati e sostituiti con sistemi di nuova generazione più efficienti. Un interessante dispositivo in questo senso è il Tadpole Heating Efficiency, un apparecchio che riduce l'aria nei sistemi di riscaldamento aumentandone la performance. Un sistema particolarmente indicato per gli immobili storici è il temperierung che consiste nell'installazione



A sinistra, progettazione di una finestra ad alta efficienza energetica nell'ambito del Progetto di Ricerca 3encult (foto di Florian Berger/EURAC). A destra, inserimento di una pellicola basso-emissiva sui serramenti esistenti (termografia di Elena Lucchi). In basso a sinistra, sostituzione dei serramenti storici con telai in PVC che, pur non modificando la forma, le dimensioni e i colori di quelli esistenti, ne hanno stravolto l'immagine estetica (foto di E. Lucchi). Al centro, inserimento di un contro vetro per il recupero di una finestra esistente (foto di E. Lucchi). A destra, inserimento di scuri caratteristico di un edificio storico (foto di E. Lucchi).



Sopra, installazione del Tadpole Heating Efficiency in un edificio a Shrewsbury (Foto ShropshireCouncil, <http://www.tadpoleenergy.com>). In alto a sinistra, tabellone informativo solare sul muro del castello di San Giorgio a La Spezia (Italia) (Foto di W. Domenichini). A destra, integrazione dei pannelli fotovoltaici nella copertura di Villa Castelli a Bellano (Italia) (foto di Valentina Cari). A fianco, sistema dell'impianto *temperierung* in fase di installazione (Foto di C. Manfredi).

di tubi circolanti acqua calda a una o più quote diverse sotto la superficie della parete, in modo da formare una fascia riscaldata di altezza circa pari a quella umana. L'efficienza è ottenuta grazie alla bassa temperatura dell'acqua (13-18 °C con i 40-60°C di quelli tradizionali) che bilancia le esigenze di comfort e di conservazione. Le sperimentazioni hanno mostrato che il *temperierung* consuma il 20% di energia in meno rispetto ai radiatori. In alcuni casi porta anche alla riduzione del contenuto d'acqua della muratura (in mattoni e malta) e, conseguentemente, all'incremento della trasmittanza termica fino al 25%. Sistemi poco invasivi sono i battiscopa radianti, che possono essere inseriti sugli zoccolini, le panche o i tappeti radianti (questi ultimi due sono anche removibili). Infine, è possibile recuperare i camini esistenti (inserendo delle caldaie ad alta prestazione) oppure accoppiando i generatori di calore esistenti con moderni ventilatori per sfruttare gli effetti di raffrescamento legati alla ventilazione ibrida.

Inserimento di fonti energetiche rinnovabili

Nell'inserimento di fonti energetiche rinnovabili è necessario favorire l'integrazione architettonica, meccanica e tecnologica degli impianti solari fotovoltaici e termici ed eolici. In entrambi i casi, alcune nazioni europee (Germania, Austria, Italia) hanno realizzato delle linee guida comuni, che spiegano quali principi adottare per ottenere la massima integrazione con il paesaggio e con l'edificio. In linea generale i principi riguardano la planarità, il rispetto delle linee, la forma regolare e ordinata, il ridotto impatto estetico e cromatico e la precisione nell'installazione ("Sustainable Renovation of Historical Buildings" - SuRHiB):

Infine, è necessario intervenire con controlli e manutenzioni continuative che consentono di valutare la risposta dell'immobile, conoscerne le nuove modalità di intervento e correggere i problemi che si generano. In conclusione, l'intervento di efficienza energetica di un edificio storico deve bilanciare le esigenze di miglioramento prestazionale (in termini di riduzione dei consumi e di aumento di comfort ambientale e sicurezza) e di conservazione, mirando a valorizzare le caratteristiche passive dell'immobile e la concezione energetica e ambientale originaria. È necessario utilizzare un approccio strategico e continuamente reiterabile di "valorizzazione conservativa e fruitiva" del patrimonio storico, nella consapevolezza che l'azione conservativa non si limita alla progettazione dell'edificio, ma esige il mantenimento e l'aggiornamento delle prestazioni nel tempo.

Bibliografia di riferimento

English Heritage, *Energy conservation in traditional buildings*, English Heritage, Londra, 2009.

Essex Country Council Planning Department, *The Conservation and Renewal of Timber Windows*, Essex County Council, Essex, 2000.

Lucchi E., *Diagnosi energetica strumentale degli edifici*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

Lucchi E., *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2009.

Lucchi E., Pracchi V., a cura di, *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2013.