

Marta Calzolari

Prestazione energetica delle architetture storiche: sfide e soluzioni

**Analisi dei metodi di calcolo per la definizione
del comportamento energetico**



Ricerche di tecnologia dell'architettura
FRANCOANGELI

Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

diretta da Giovanni Zannoni (Università di Ferrara)

Comitato scientifico:

Andrea Boeri (Università di Bologna), Carlos A. Brebbia (Wessex Institute of Technology, Southampton), Joseph Galea (University of Malta), Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Giorgio Giallocosta (Università di Genova), Maria Chiara Torricelli (Università di Firenze), Jan Tywoniak (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

La collana *Ricerche di tecnologia dell'architettura* tratta prevalentemente i temi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design con particolare attenzione alla costruibilità del progetto. In particolare gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle scale esecutive e quindi le modalità di realizzazione, trasformazione, manutenzione, gestione e recupero dell'ambiente costruito.

I contenuti scientifici comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi.

Nel campo del design i contenuti riguardano le teorie, i metodi, le tecniche e gli strumenti del progetto di artefatti e i caratteri produttivi-costruttivi propri dei sistemi industriali.

I settori nei quali attingere per le pubblicazioni sono quelli dei progetti di ricerca nazionali e internazionali specie di tipo sperimentale, le tesi di dottorato di ricerca, le analisi sul costruito e le possibilità di intervento, la progettazione architettonica cosciente del processo costruttivo.

In questi ambiti la collana pubblica progetti che abbiano finalità di divulgazione scientifica e pratica manualistica e quindi ricchi di spunti operativi per la professione di architetto.

La collana nasce sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi nel 1974.

I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata affidata a un Comitato scientifico, diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura e proseguire l'importante opera di divulgazione iniziata quarant'anni prima.

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio “Informatemi” per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Marta Calzolari

Prestazione energetica delle architetture storiche: sfide e soluzioni

**Analisi dei metodi di calcolo per la definizione
del comportamento energetico**

Ricerche di tecnologia dell'architettura
FRANCOANGELI

Il presente volume raccoglie una parte, approfondita e revisionata, della tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura – XXV ciclo, svoltasi presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli studi di Ferrara, l'Università IUAV di Venezia (sede consorziata) e la Facoltà di Architettura dell'Università degli studi di Bologna (sede consorziata di Cesena).

Tutor della tesi: prof. Pietromaria Davoli La pubblicazione del presente volume è stata cofinanziata dal Fondo di Ateneo per la Ricerca scientifica (FAR) dell'Università degli studi di Ferrara, anno 2012, dal titolo “Smart & Quali(ci)ty. Rigenerazione ed efficienza energetica per una qualità sostenibile della vita”.

Marta Calzolari afferisce al Centro Architettura>Energia del Dipartimento di Architettura dell'Università degli studi di Ferrara.

Ringraziamenti

Non sarebbe stato possibile portare a termine in modo così approfondito il presente lavoro senza il prezioso supporto scientifico e umano del prof. Pietromaria Davoli, al quale va il mio primo sentimento di riconoscenza per avermi sempre guidato in questi anni con grande partecipazione ed entusiasmo.

Ringrazio in modo particolare il prof. Giovanni Zannoni, che ha creduto nel mio lavoro sempre, durante il percorso di ricerca e, infine, dandomi l'importante opportunità di pubblicarlo nel presente volume.

Tutte le immagini e le fotografie pubblicate all'interno del volume sono state elaborate o scattate a cura dell'autore.

In copertina: Palazzina di Marfisa D'Este, Ferrara. Fotografia di Pietro Piella.

Copyright © 2016 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

Indice

Presentazione , di <i>Giovanni Zannoni</i>	pag.	9
Prefazione , di <i>Pietromaria Davoli</i>	»	11
Introduzione	»	15
1. Patrimonio edilizio storico e riqualificazione energetica	»	25
2. Esperienze progettuali per la riqualificazione energetica del patrimonio storico	»	44
2.1. Analisi critica degli interventi di riqualificazione energetica presentati nelle schede	»	44
2.2. Progetto di riqualificazione energetica attraverso l'intervento sull'involucro	»	64
2.3. La sfida dell'integrazione del sistema impiantistico	»	70
3. Linee guida e buone pratiche per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio storico	»	80
3.1. Una panoramica dello stato di fatto	»	80
3.2. Elaborazione di un quadro sinottico delle principali fasi di intervento per la riqualificazione energetica	»	90
4. Il sistema di valutazione dell'efficienza energetica nel processo di riqualificazione del patrimonio storico	»	96
5. Metodi di calcolo del comportamento energetico	»	105

6. Confronto tra i metodi di calcolo delle prestazioni energetiche applicati all'edilizia storica	pag.	111
6.1. Simulazioni in regime mediamente stazionario dei casi studio	»	111
6.2. Risultati delle simulazioni	»	134
6.3. Organizzazione dell'analisi	»	137
6.4. Valutazione dei metodi di calcolo semplificati. Impostazione dell'analisi	»	143
6.5. Simulazione energetica in regime dinamico dei casi studio	»	185
6.6. Valutazione del metodo di calcolo standardizzato	»	191
7. Considerazioni conclusive	»	203
Riferimenti bibliografici	»	211

Alla mia Famiglia

Presentazione

di Giovanni Zannoni

Dai lontani tempi della legge 373 (era il 1976), poco dopo la guerra del *Kippur* del 1973 fra Egitto, Siria e Israele, il contenimento dei consumi energetici è diventato uno degli aspetti prioritari del mondo delle costruzioni. L'improvvisa e inaspettata variazione del flusso di approvvigionamento del petrolio da parte delle nazioni appartenenti all'OPEC ha modificato di colpo, fra le altre cose, anche l'approccio della progettazione architettonica con le tecnologie costruttive tradizionali che per decenni avevano costituito il sistema per fare edilizia. In poco tempo sono diventati obsoleti sistemi costruttivi che erano stati utilizzati per costruire le nostre abitazioni, sono nate nuove tecnologie, nuovi materiali (soprattutto termoisolanti) e soprattutto si sono modificati gli spessori dell'involucro edilizio con conseguente ricaduta sui volumi complessivi dell'edificio e sulle dimensioni degli spazi abitati.

Ma non è stato sufficiente. Il continuo aumento del costo del barile di petrolio e anche le aumentate richieste di comfort abitativo da parte dell'utenza (si pensi al raffrescamento estivo quasi sconosciuto solo quarant'anni fa e adesso considerato irrinunciabile) hanno aumentato i costi della climatizzazione *indoor* suggerendo l'adozione di ulteriori misure di risparmio dei consumi che sono state esplicitate nella legge 10 del 1991 con l'intento di razionalizzare ulteriormente l'uso dell'energia per il riscaldamento.

Ma ancora non è stato sufficiente. L'arrivo sul mercato della forte domanda di petrolio da parte dei cosiddetti paesi emergenti (Cina, India, Brasile, ecc.) ha ancor più fatto alzare il prezzo del barile (che nel 2008 è arrivato al massimo storico di quasi 150 dollari) costringendo l'UE a correre ai ripari emanando la Direttiva 2001/91/CE riguardante il rendimento energetico nell'edilizia, che raccomandava la riduzione delle emissioni inquinanti e l'indipendenza da fonti energetiche provenienti da paesi diversi, Direttiva recepita dall'Italia nel 2005 con il d.lgs 192 e nel 2006 con il d.lgs 311 che estendeva l'ambito di applicazione della certificazione energetica a tutti gli edifici, ossia nuovi ed esistenti.

Quest'ultimo aspetto dell'applicazione della Direttiva agli edifici esistenti è stato determinante in un mercato edilizio come quello nazionale dove ormai gli

interventi di riqualificazione, recupero, restauro, ecc. hanno economicamente superato gli investimenti in nuove costruzioni. Il patrimonio edilizio italiano è infatti largamente costituito da una serie di edifici sia vecchi che antichi che necessitano, comunque tutti, di interventi di riqualificazione, primo fra tutti quello che riguarda gli aspetti energetici. Ma l'intervento su di un edificio datato, soprattutto se si tratta di edilizia storica, deve prevedere un approccio sostanzialmente diverso da quello che viene normalmente effettuato su di un edificio di epoca recente. In questo caso si tratta di valutare con attenzione l'intero quadro prestazionale della costruzione e definire il limite fra l'opportunità di mantenere la memoria storica dell'edificio e le necessità e possibilità di riqualificarlo dal punto di vista energetico, in modo da bilanciare entrambe le esigenze e ottenere un risultato soddisfacente da entrambi i punti di vista.

Appare chiaro come determinate metodologie di valutazione e analisi dello stato di fatto pensate per costruzioni di epoca relativamente recente risultino inapplicabili per l'edilizia storica, in quanto il mantenimento del valore testimoniale di determinati edifici può risultare prevalente rispetto al raggiungimento dei limiti normalmente fissati per interventi più recenti. Inoltre l'edilizia storica monumentale presenta, oltre a una immagine architettonica molto caratterizzata, delle tecniche costruttive e dei materiali fondamentalmente differenti da quelli che normalmente si incontrano nell'edilizia minore e per la quale sono pensate le nuove tecniche di riqualificazione. Si tratta di una problematica piuttosto complessa che si dibatte fra l'opportunità di adeguare il confort interno alle attuali richieste dell'utenza e, più globalmente, al contenimento dei consumi, con la necessità di contenere le spese di gestione del complesso e con la richiesta di non alterare il valore storico dell'architettura.

Questo volume fornisce un contributo originale proponendo un sistema di valutazione e calcolo delle caratteristiche dell'edilizia storica che deriva dall'analisi delle metodologie attualmente esistenti, mediate anche da alcune indagini sperimentali, per arrivare a conoscere con maggiore precisione quali siano le caratteristiche energetiche di un edificio d'epoca che possono essere incrementate e fino a dove è possibile spingersi senza snaturarne l'immagine complessiva. È un contributo al costante dilemma dell'architettura italiana combattuta fra il "dov'era, com'era" e la necessità di un sistema in costante evoluzione con esigenze sempre più complesse. Fra i costi gestionali di una "conservazione a ogni costo" e quelli ambientali dell'inquinamento atmosferico e del buco nell'ozono. La mediazione è complessa, soprattutto quando si pensa che se nel 1542 non avessero demolito il Palazzo Thiene progettato da Lorenzo da Bologna a Vicenza, ora non avremmo il Palazzo Thiene progettato da un giovane ventenne Andrea Palladio su progetto di Giulio Romano; e più recentemente, se non avessero demolito i mercati di *Les Halles* a Parigi, ora non avremmo il Centro *Pompidou* di Piano e Rogers, allora poco più che trentenni.

Prefazione

di Pietromaria Davoli

Il “restauro energetico” di una risorsa culturale non rinnovabile: accanimento terapeutico o indagine necessaria sul patrimonio storico?

Nel campo della riconversione-rigenerazione funzionale e della riqualificazione tecnologico-ambientale del patrimonio edilizio esistente a elevato valore testimoniale, lo stato dell'arte della ricerca è ormai piuttosto ampio e ramificato, anche se per il momento, tuttavia, non sufficientemente strutturato, soprattutto in materia di efficienza energetica. Si devono affrontare, infatti, aspetti fortemente interdisciplinari¹, per i quali i vari settori scientifico disciplinari tendono ancora a esprimersi in maniera troppo autonoma. Ovviamente l'Italia si colloca ai vertici mondiali in questo settore, per la capacità di porsi come luogo privilegiato di indagine e in virtù dell'ambiente culturale di eccellenza, in grado di elaborare da sempre le principali teorie del restauro.

Il tema della “economia circolare” del costruito, che si fonda su concetti di riuso, riciclo, rigenerazione, re-inserimento di beni in nuovi cicli di vita fornisce ancora più forza e motivazioni a questi principi, pensando soprattutto all'elevatissimo contenuto di *embodied energy*².

¹ Che superano cioè il concetto di multidisciplinarietà, intesa come lavoro comune di persone che continuano a operare (e a pensare) secondo i crismi e le regole della loro disciplina di provenienza, per accedere al concetto appunto di interdisciplinarietà, che si verifica quando si riesce a integrare il metodo di lavoro e, per quanto possibile, anche le conoscenze delle diverse discipline, per produrre una sintesi congiunta dei differenti approcci alla ricerca.

² Si rimanda a: Davoli P. (2011), “Quello che non si vede. Embodied energy, memoria e futuro del costruito”, in *L'ufficio tecnico*, n. 5, pp. 16-26. In questo contributo si mette in evidenza come l'analisi del contenuto di *energia incorporata* o *energia grigia* condizioni fortemente la valutazione del bilancio energetico complessivo, “dalla culla alla tomba”, in edilizia. Soprattutto nel periodo attuale, dove si registrano importanti risultati sul fronte dell'efficienza energetica nella fase di esercizio. Viene descritto il concetto di energia incorporata e il suo rapporto con il *Life Cycle Assessment*; Davoli P. (2012), “Una nuova rovina. Finita o non ri-finita comunque attrattiva”, in *Recupero e conservazione*, n. 103, pp. 36-45.

Con il d.lgs. 311/2006, il Legislatore italiano ha iniziato a spingere, in recepimento agli indirizzi della Direttiva europea in materia di efficienza energetica degli edifici, sul fronte del recupero e non più solo della nuova costruzione, consapevole che i risultati migliori per la riduzione in edilizia di consumi ed emissioni con effetti negativi sul cambiamento climatico si sarebbero ottenuti proprio su questo fronte, numericamente ben più significativo. A distanza di qualche anno, tuttavia, si è compreso che non solo l'edilizia del Dopoguerra poteva essere riqualificata, ma di lì a breve sarebbero stati pure maturi i tempi per il *retrofit* dell'edilizia storica di base e, con un ulteriore sforzo, persino di quella "monumentale" (o anche "specialistica", nel caso si facessero ivi rientrare pure le residenze nobiliari): la prima, importante quantitativamente, perché strutturante i centri storici, i borghi e l'edilizia rurale diffusa; la seconda, rilevante in termini qualitativi, per l'immagine e l'effetto traino che interventi su questa tipologia di contenitori emblematici ed emergenti producono sulla collettività e di conseguenza per la spinta che ne deriva sul fronte normativo, dell'innovazione nella ricerca applicata, della produzione aziendale, delle linee di indirizzo progettuale, delle procedure e dei protocolli di certificazione o di *rating* volontario.

A testimonianza di ciò, si rileva come, a partire dal 2006, molti siano stati gli studi e gli eventi che hanno provato a delineare una precisa strada di azione³. Perché dunque voler continuare a indagare con accanimento e così a fondo? Perché, come mette chiaramente in evidenza la presente pubblicazione:

- esiste un forte scollamento fra Indice di Prestazione Energetica Globale calcolato con i sistemi di simulazione (adottati anche dalla normativa) e consumi reali (per esempio desunti dal consumo in bolletta): i *software* restituiscono perciò in genere risultati inattendibili sull'edificio storico;
- conseguentemente, esiste il pericolo di dati errati di valutazione iniziale (al ribasso o al rialzo) e che rischiano di far propendere per azioni di *retrofit* troppo invasive e poco reversibili e compatibili con la fabbrica storica, ma non

³ Solo per citarne alcuni: il convegno "Architettura Energia. Il restauro energetico degli edifici storici", Salone del Restauro 2009, Ferrara. Coordinamento scientifico: Centro Ricerche Architettura>Energia e Centro DIAPReM, Università degli Studi di Ferrara; le linee guida del "Progetto A.T.T.E.S.S.", "Azioni di Trasferimento Tecnologico per il miglioramento delle prestazioni Energetico-ambientali dell'edilizia Storica secondo i criteri dell'edilizia Sostenibile", a cura di vari enti del Veneto; il convegno "Come attuare interventi di restauro sostenibile nell'edificio monumentale e nel suo contesto: criteri, soluzioni ed esempi", Istituto Regionale delle Ville Venete, Fumane, Verona, 2012; il convegno "L'efficienza energetica nell'edilizia storica", Politecnico di Milano, 2013 (cfr. i relativi atti: Lucchi E., Pracchi V., a cura di, (2013), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna); il progetto europeo "3encult", dedicato all'efficienza energetica degli edifici storici; il protocollo "GBC Historic Building" di Green Building Council Italia; le "Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici e urbani" promosse dal MiBACT (ottobre 2015).

realmente necessarie; come pure, al contrario, ad indirizzare verso interventi insufficienti per ottenere un comportamento termico (e igrometrico) adeguato alle specificità dell'involucro, alle opere d'arte e alle persone ospitate:

- esiste l'urgenza, infine, di capire (calcolare) il ruolo che possono giocare elementi ricorrenti nell'edilizia storica, quali *in primis* gli spazi filtro non riscaldati (*buffers*) e le grandi masse di volano termico, anche ipogeo.

Ecco allora che la ricerca quasi "maniacale" di un modello di simulazione estremamente preciso e attendibile diventa indispensabile, in ragione della delicatezza, della fragilità e dell'unicità dell'oggetto di analisi.

In virtù delle deroghe consentite per edifici con forte valenza storica nel caso in cui il rispetto delle prescrizioni energetiche potrebbe alterare in maniera inaccettabile i loro caratteri distintivi⁴, si deve tendere certamente al concetto di "miglioramento", anziché a un asettico "adeguamento" agli elevati minimi normativi; ma di contro la deroga non deve diventare (come accade spesso ora nel gioco delle parti fra Soprintendenza, Amministrazione comunale e proponente) una comoda scusa per evitare un'effettiva *deep renovation* energetica. Questa affermazione si può esprimere serenamente basandosi su due ragioni:

- le tecnologie sono disponibili e l'innovazione tecnologica ha compiuto balzi enormi in questo campo, sia dal punto di vista dell'efficientamento degli impianti e dell'involucro in genere, sia dell'inserimento di fonti rinnovabili e della riduzione di emissioni di gas climalteranti⁵;

- gli interventi su architetture esemplari si moltiplicano e quindi lo stato dell'arte, pur rispettando il criterio del "caso per caso", mette a disposizione un repertorio di casi studio davvero solido e confortante⁶.

Non ci sono dunque più scuse, soprattutto se si aggiunge che:

- l'efficientamento energetico sensibile e scientificamente efficace del patrimonio storico non significa un'azione di immotivata violenza, di sopraffazione

⁴ Deroghe derivanti da precise deleghe affidate agli stati membri dalla Direttiva 2010/31/UE, art. 4, comma 2, integrate nel 2013, a livello italiano, da provvedimenti tesi a far sì che sia l'autorità competente a stabilire che l'intervento rappresenti un'alterazione inammissibile del valore storico e artistico del bene.

⁵ Alcune soluzioni fra tutte: serramenti altamente performanti, con telai consoni all'impianto storico; termo-intonaci con materiali tradizionali, ma con prestazioni ormai simili a quelle di un comune pannello isolante; isolanti super sottili e super prestanti per non falsare gli spessori originari di pareti, pavimenti, imbotti e coperture; vetri fotovoltaici trasparenti ("luminescenti"), orientabili a piacere, catturando questi la radiazione anche diffusa.

⁶ Significativi i primi esempi a livello italiano: da quelli relativi all'edilizia di base (uno per tutti, il progetto "Brennone 21" per la riqualificazione tipologica energetica di un edificio nel tessuto storico minore di Reggio Emilia), a quelli più visibili e rappresentativi dell'edilizia monumentale/specialistica (la riqualificazione energetica del complesso della Reggia della Venaria Reale, TO; la conservazione sostenibile della Barchessa di Villa Contarini a Mira, PD; il progetto di recupero di Villa Astori a Torre de' Roveri, BG; il restauro secondo criteri di sostenibilità tecnica, economica ed energetica di Casa Ceschi a Vicenza; Palazzo d'Accursio a Bologna, uno dei casi studio del progetto europeo "3encult").

puramente tecnico-prestazionale della fabbrica antica e dei suoi delicati “ecosistemi” e valori testimoniali; bensì rappresenta un principio di più efficace e consapevole conservazione del bene, dal momento che condizioni più stabili e adeguate degli ambienti e dell’involucro significano (sia per gli utenti, sia per le opere conservate) minori fenomeni di degrado (*shock* termici, innanzitutto) e più efficace *up-cycling* funzionale e attrattività del bene architettonico; - anziché solo di *retrofit* o di efficientamento⁷, si deve senza timore parlare anche di “restauro energetico”; ovvero di comprensione e riattivazione dei sistemi passivi di controllo ambientale (una sorta di recupero del “metabolismo ambientale” originale dell’organismo edilizio) che connotano da sempre l’edificio pre-industriale, visto che l’impianto di climatizzazione termica, che sofferisce a tutti i malfunzionamenti dell’involucro “globalizzato” e non più contestualizzato alle condizioni climatiche locali, è un’invenzione moderna. Un’invenzione che deriva dal desueto concetto di fonte fossile inesauribile e a basso costo. “Restauro energetico” significa inoltre comprendere e riproporre i modelli o le condotte di ventilazione naturale che in origine fornivano spesso una riserva passiva ineludibile (particolarmente utile oggi per l’energivoro regime estivo), che dovrebbe essere reintrodotta nella determinazione del bilancio energetico annuale.

L’autrice, con estremo rigore scientifico, individua una sua strada originale, “contaminando” fin da subito l’approccio sistemico tipico della Tecnologia dell’architettura e della Progettazione ambientale con la sensibilità verso la “materia” storica e soprattutto con l’attitudine alla sperimentazione in laboratorio e sul campo, propria maggiormente dell’area della Fisica, dalla quale ha raccolto, durante tutto l’arco dell’indagine, suggerimenti e supporti strategici e imprescindibili. Un atteggiamento perfettamente in linea con la precedente richiesta di interdisciplinarietà, conservando però il baricentro della regia all’interno del proprio specifico ambito disciplinare.

Questa capacità di “coordinatore di competenze” (tipica della figura dell’architetto) la conduce a due importanti risultati:

- mettere in evidenza i limiti intrinseci dei *software* di simulazione del comportamento energetico (pensati per altri oggetti di indagine) attualmente disponibili sul mercato, fornendone possibili correttivi di adattamento;
- mettere in guardia (dati alla mano) dai diversi margini di errore che si hanno con i molteplici tipi di simulazione e sottolineare l’importanza di abachi di “pacchetti tecnologici” con valori di comportamento maggiormente calati sulle problematiche delle specifiche “consistenze” della fabbrica storica (presenza di umidità *in primis*).

⁷ Entrambe espressioni usate per definire l’intervento sistemico sul patrimonio edilizio esistente, specialmente però per quello meno datato.

Introduzione

Ambito della trattazione

La trattazione ha come oggetto specifico il campo della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio con valore storico e testimoniale, con particolare riferimento all'edilizia monumentale, nell'accezione di distinzione dall'edilizia di base o cosiddetta "minore", e da quella residenziale. I tratti distintivi di questa tipologia consistono nel fatto che su di essa non sono possibili, a oggi, generalizzazioni sia in termini di definizione dello stato di fatto energetico, sia per quanto riguarda l'individuazione di linee guida per la riqualificazione. Gli edifici storici specialistici generalmente non costituiscono parte del tessuto aggregativo urbano ma si distinguono, ergendosi spesso liberi sui quattro lati, nel lotto di pertinenza.

Non è sufficiente, nella progettazione dell'intervento di riqualificazione, ricercare una mediazione con la normativa di riferimento dell'edilizia esistente non storicizzata, perché essa riconduce il metodo di calcolo ad uno *stock* edilizio per lo più con destinazione residenziale. Questo presuppone un'analisi preliminare dei fabbricati diversa da quella prevista per il resto del tessuto edilizio esistente storicizzato e non, che parta dalla conoscenza quanto più corretta del comportamento energetico e ambientale di tali fabbricati. La previsione di una futura normativa di settore deve spingere verso un approccio differente che ha origine dalla precisa definizione dello stato di fatto (energetico) dell'edificio prima ancora che dalle linee guida per un intervento di riqualificazione.

L'esigenza sempre più frequente di rifunzionalizzare questa parte del patrimonio edilizio esistente, soprattutto nello scenario italiano che risulta particolarmente rilevante in termini di diffusione sul territorio, spinge il settore delle costruzioni a indagare il comportamento energetico dei fabbricati antichi, nell'ottica di intervenire su di essi con un approccio adeguato e differente rispetto a quello utilizzato per il costruito di più recente edificazione, al fine di individuare soluzioni appropriate per una riqualificazione energetica conservativa.

Una valutazione corretta del comportamento energetico dei fabbricati permette, infatti, di progettare interventi di riqualificazione mirati e soprattutto

realmente necessari per migliorare il *comfort* interno agli ambienti in essi contenuti.

Impostazione metodologica

Dal momento che è possibile indagare l'edilizia storica soltanto attraverso gli strumenti di calcolo sviluppati per edifici nuovi o comunque di recente costruzione, la trattazione è impostata a partire dall'analisi di questi strumenti per verificarne la validità e i limiti di applicazione all'edificio antico. In particolare, tali strumenti sono classificabili secondo due categorie, i metodi di calcolo analitici, che richiedono di descrivere correttamente tutte le caratteristiche geometriche e termiche dei fabbricati, e i metodi semplificati, che permettono di facilitare alcuni passaggi del calcolo ricorrendo a determinate soluzioni pre-calcolate per sistemi tecnologici *standard*.

Pertanto, gli argomenti trattati prendono avvio in primo luogo dall'ipotesi che per gli edifici storici esista uno scostamento tra il risultato di prestazione energetica ottenuto con il metodo analitico standardizzato derivante dalla normativa di settore per l'edilizia non storicizzata e i metodi semplificati riconosciuti dal Comitato Termotecnico Italiano¹.

Per verificare questa prima ipotesi è necessario analizzare ogni fase dell'utilizzo degli strumenti semplificati per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici storici per definirne i limiti di applicabilità a questa tipologia edilizia specifica. L'uso di questi strumenti ha permesso di quantificare lo scostamento tra i risultati ottenuti con i due diversi metodi di calcolo e, in caso di scostamenti significativi, di proporre gli aggiustamenti necessari per l'uso degli strumenti di calcolo semplificati per la verifica delle prestazioni energetiche degli edifici storici.

Verificata la possibilità o meno di ricorrere ai metodi di calcolo semplificati per la stima energetica degli edifici storici applicando gli opportuni correttivi individuati, si è valutata la possibilità di un utilizzo corretto anche del metodo analitico standardizzato di calcolo delle prestazioni energetiche, considerando che la sua applicazione all'edilizia storica presenti dei limiti, derivanti dalla impossibilità di conoscere tutti i dati di *input* richiesti, necessari a compiere un calcolo attendibile. Pertanto, per verificare questa seconda ipotesi è stato necessario verificare l'utilizzo dello strumento di calcolo analitico standardizzato per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici storici per definirne i

¹ Il metodo analitico è definito dal Decreto Legislativo 192/2005 e 311/2006 e dal corpo metodologico UNITS 11300 [1-2-3]. Il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015 (entrata in vigore ottobre 2015) contiene le nuove linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

limiti di applicabilità a questa tipologia edilizia specifica individuando i dati, richiesti dal metodo di calcolo, più difficili da definire con esattezza. Una volta ottenuti i risultati dell'analisi è stato possibile proporre soluzioni alternative per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici storici con metodo standardizzato.

La trattazione, pertanto, si concentra sull'analisi degli strumenti di calcolo delle prestazioni energetiche dell'architettura antica, con particolare riferimento all'edilizia monumentale. Nell'ambito del progetto di riqualificazione energetica, l'attenzione è posta soltanto alla fase preliminare di indagine dello stato di fatto, intesa come momento decisivo nel processo decisionale delle scelte future di intervento. Per questa ragione, la limitazione di campo necessaria a inquadrare gli obiettivi del presente studio deve necessariamente svilupparsi su vari livelli, attraverso la definizione di alcuni concetti chiave correlati al lavoro presentato.

Nel testo si fa riferimento a concetti quali "edilizia storica", edilizia storica "specialistica" o "monumentale" e "valutazione energetica", che vengono di seguito descritti in funzione dell'uso specifico in questo contesto.

Quando uno si fa la casa con le sue mani, la fa come uno si fa una casa in quel particolare momento nella sua area culturale, comprendendo immediatamente e sinteticamente quel che più conviene a formare un prodotto edilizio, agendo quindi in piena coscienza spontanea² (Caniggia Maffei, 1979, p. 41).

Secondo la precedente descrizione di Caniggia e Maffei, l'edilizia storica è il risultato di un "fare architettura" attraverso ciò che il periodo storico e l'esperienza trasmettono e che contraddistinguono la cultura di quel particolare architetto o momento storico. Pertanto, si può definire edilizia storica il processo edilizio che porta alla realizzazione dell'architettura spontanea e possiamo considerare come tecnologie e materiali tipici dell'architettura antica tutti i prodotti che entrano all'interno di questo processo.

Generalmente questo particolare periodo si fa corrispondere all'era "pre-industriale", quella cioè, caratterizzata da un processo edilizio fondato su tecniche, materiali e tecnologie tradizionali, locali, strettamente radicate in un luogo o in una particolare cultura.

All'opposto, nel momento in cui «la complessità del processo allontana a tal punto gli attori da renderli incapaci di riconoscersi in un orizzonte organico di obiettivi, siamo in piena coscienza critica. Possiamo definire industriali le tipologie di processo più o meno convenzionali, come le tecnologie ed i materiali propri di questa fase³» (Sinopoli, 1997, p. 35).

² Caniggia G., Maffei G.L. (1979), *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia.

³ Sinopoli N. (1997), *La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regie*, FrancoAngeli, Milano.

Edilizia storica quindi è il risultato di un processo edilizio che si caratterizza per scelte architettoniche tecnologiche e formali frutto di abitudini non sempre codificate.

La legislazione nazionale di tutela dei beni culturali afferma che non siano considerabili oggetto di conservazione e salvaguardia le opere «di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltre settant'anni» (decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42⁴). Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio aiuta ad affiancare un limite cronologico alle definizioni basate sull'analisi tipologica e tecnologica delle architetture del passato. Pertanto, possiamo considerare "edilizia storica" il prodotto di un processo basato su una coscienza spontanea, frutto di un lavoro risalente ad almeno settant'anni fa⁵. Un'ulteriore specificazione del patrimonio storico è utile, in particolare, per comprendere la scelta dei casi studio presentati. Gli argomenti trattati, le ragioni che hanno mosso lo studio e i risultati raggiunti sono validi ed estendibili a tutto il patrimonio storico, ma risultano più evidenti e significativi per quanto riguarda il patrimonio storico "specialistico".

Anche l'architettura antica è costituita principalmente da edilizia di base e da edilizia specialistica; il settore dell'edilizia di base si riferisce ad una tipologia a destinazione prevalentemente residenziale, che costituisce la parte preponderante del tessuto storico dei centri abitati; l'edilizia specialistica, invece, rappresenta un caso a parte perché è caratterizzata da un "tipo" edilizio ed è «maggiormente autonoma rispetto alle regole che governano l'aggregato»⁶ (Caniggia Maffei, 1979, p. 106). Per fare questa distinzione è utile anche con-

⁴ Il Codice è stato soggetto a due significativi aggiornamenti nel 2006 e nel 2008 e di tanto in tanto viene modificato attraverso articoli sparsi in leggi o decreti-legge poi convertiti. Si fa riferimento in particolare ai decreti legislativi del 24 marzo 2006, n. 156 in relazione ai beni culturali e n. 157 in relazione al paesaggio, pubblicati nel S.O. alla G.U. n. 97 del 27 aprile 2006 – Serie generale ed ai successivi decreti legislativi del 26 marzo 2008, n. 62 in relazione ai beni culturali e n. 63 in relazione al paesaggio, pubblicati nella G.U. n. 84 del 9 aprile 2008 – Serie generale.

⁵ Si fa riferimento all'art. 10, comma 5; il decreto-legge n. 70 del 13 maggio 2011, convertito in legge n. 106 del 12 luglio 2011 ha portato a 70 anni il limite in precedenza stabilito dal Codice in 50. Il riferimento ai 50 anni rimane invariato per i beni immobili di proprietà privata.

⁶ "Edifici specialistici" (chiese, conventi, palazzi gentilizi, ecc.) sono quelli «di norma destinati ad un uso non residenziale familiare, con elevato grado di specializzazione» (Caniggia G, Maffei G.L., op. cit., p. 106), mentre "l'edilizia di base" è quella «atta alla residenza di una o più famiglie [...]». Carattere essenziale è una costante minor incidenza di personalizzazione del prodotto edilizio; all'opposto gli edifici specialistici sono tanto personalizzati da esserne spesso noto l'autore, il committente, l'autore, la famiglia che li ha abitati [...]. Carattere ineluttabile dell'edificio specialistico è l'essere condizionato pur sempre da un "tipo" specifico: ovviamente non più "concetto di casa" ma concetto di ospedale, convento, scuola, palazzo nobiliare, ecc. [...] Più l'edificio è specializzato più è personalizzato da mediazioni interposte tra edificazione e fruizione». (Caniggia G., Maffei G.L., op. cit., p. 111).

siderare il contesto ambientale (antropizzato o naturale) entro cui si inserisce l'edificio. In base a questo, è possibile individuare tre ambiti di riferimento, riassunti in Tabella 1.

Tab. 1 - Ambiti di riferimento degli edifici storici. In grassetto è evidenziato l'ambito di riferimento interessato dal presente lavoro

	ISOLATO	DIFFUSO
AMBIENTE URBANO	Palazzi, palazzetti, chiese	Edifici caratteristici del centro storico
AMBIENTE PERI - URBANO	Villini con giardino	Edifici caratteristici del tessuto urbano consolidato
AMBIENTE EXTRA - URBANO	Ville, castelli, monasteri	Borghi, insediamenti rurali, corti benedettine

Fonte: Progetto A.T.T.E.S.S – edilizia storica e sostenibilità ambientale⁷

La trattazione si concentra essenzialmente sull'ambito "isolato" (o quasi isolato), individuando come oggetto di indagine i palazzi, le ville, i castelli o i monasteri, tutte, cioè, quelle tipologie edilizie, specialistiche, che si ergono di norma nel lotto di pertinenza libere su tre o quattro lati. Pertanto, unendo le due definizioni, una maggiormente legata alla destinazione d'uso, l'altra all'ambito di riferimento, è possibile identificare con l'espressione edilizia storica "specialistica monumentale" l'oggetto del lavoro, riferendosi ad una tipologia edilizia antica caratterizzata da elementi architettonici e tecnologici che la fanno emergere nel complesso costituito dal tessuto aggregativo di base.

Distinguere tra edificio specialistico e di base, pertanto, è utile in particolare per un approccio "energetico" al problema. Le ragioni sono essenzialmente quelle di seguito descritte. Il primo aspetto è riferito alla destinazione d'uso. Per quanto riguarda la certificazione energetica, la normativa italiana (UNI TS 11300⁸) distingue il metodo di valutazione in base alla destinazione d'uso del fabbricato, per semplificare il calcolo attraverso alcune specifiche approssimazioni⁹. Una delle più significative in tal senso consiste nel diverso rapporto tra superficie e volume riscaldato assegnato alle diverse tipologie. Nell'edilizia

⁷ Cfr.: Chiovaro S. (2008), *Analisi e valutazioni condotte su un edificio storico dell'alta Marca Trevigiana*, in AAVV, *La qualità delle prestazioni energetico – ambientali nella manutenzione dell'architettura storica, Linee guida*, Progetto A.T.T.E.S.S – Edilizia storica e sostenibilità ambientale, Metadistretto Veneto della Bioedilizia e Metadistretto Veneto dei beni culturali.

⁸ Per una trattazione più approfondita della normativa di riferimento in materia di efficienza energetica e certificazione si rimanda al capitolo 1.

⁹ Si rimanda al capitolo 5 per la trattazione di questo argomento.