

LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE

Architettura, centri e nuclei storici ed urbani

INDICE

1 - OGGETTO DELLE LINEE D'INDIRIZZO

- 1.1 - Finalità e criteri 5
- 1.2 - Quadro delle principali disposizioni normative 7

2 - CONOSCENZA DEI CONTESTI

- 2.1 - I beni architettonici in riferimento al Codice dei beni culturali e del paesaggio 9
- 2.2 - Analisi dei caratteri tecnico-costruttivi dell'edilizia storica 15
 - 2.2.1 - Lettura storica degli interventi sull'edificio 15
 - 2.2.2. - Rilievo geometrico e dei materiali costitutivi 15
- 2.3 - La valutazione della qualità ambientale negli edifici storici 17
 - 2.3.1. - Introduzione 17
 - 2.3.2. - Il comfort termico 17
 - 2.3.3. - Il comfort visivo 18
 - 2.3.4. - Il comfort acustico 18
 - 2.3.5. - La qualità dell'aria 19
 - 2.3.6. - Come migliorare la qualità ambientale 19
 - 2.3.7. - I requisiti ambientali del patrimonio museale mobile 23
- 2.4 - Analisi del sistema impiantistico esistente 27
 - 2.4.1. - Introduzione 27
 - 2.4.2. - Le tipologie di impianto 27
 - 2.4.3. - Il rilievo dell'impianto 27
 - 2.4.4. - L'impiantistica storica 27
- 2.5 - Elementi conoscitivi sul patrimonio edilizio moderno e contemporaneo 28
 - 2.5.1. - Analisi dei caratteri tecnico-costruttivi e strutturali dell'edilizia moderna e contemporanea 28

3 - VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA PER IL PATRIMONIO CULTURALE

- 3.1 - La diagnosi energetica degli edifici storici 31

3.1.1 – Introduzione	31
3.1.2 - Lo scopo della diagnosi energetica	31
3.1.3 - I livelli di diagnosi energetica	32
3.1.4 - Il processo di diagnosi energetica	32
3.1.5 - La diagnosi energetica degli edifici storici	33
3.2 - Procedura per migliorare l'efficienza energetica degli edifici	35
3.2.1 - Una proposta di procedura	35
3.3 – La valutazione della prestazione energetica complessiva di un edificio storico	36
3.3.1 – Introduzione	36
3.3.2 - La valutazione della prestazione energetica	36
3.3.3 - Alcune problematiche	37
3.3.4 - La valutazione degli effetti degli interventi di riqualificazione energetica	37
3.4 – Esempio applicativo – proposte per la Galleria Borghese, Roma	37
3.4.1 - Utilizzo pompe di calore nella stagione invernale – applicazione linee guida AiCARR	37
3.4.2 - Classificazione dell'edificio	38
4 – MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA PER IL PATRIMONIO CULTURALE	
4.1 - Interventi sugli edifici e criteri di restauro	41
4.1.1 - Premessa metodologica	41
4.1.2 - Isolanti termici e isolamento termico dell'involucro edilizio	44
4.1.3 - Chiusure orizzontali superiori	47
4.1.4 - Chiusure verticali opache	50
4.1.5 - Chiusure verticali trasparenti	55
4.1.6 - Chiusure orizzontali inferiori	59
4.1.7 - Bonifica dall'umidità	61
4.1.8 - Controllo dell'irraggiamento solare	63
4.1.9 - Materiali	70
4.1.10 – Interventi	81
4.1.11 - Buone pratiche	108
4.2 - Interventi sugli impianti e criteri di restauro	133
4.2.1 - Premessa metodologica	133
4.2.2 - La produzione di energia termica	137
4.2.3 - La produzione di energia frigorifera	138
4.2.4 - La produzione di energia termica e frigorifera	138
4.2.5 - La pompa di calore a compressione	139
4.2.6 - Le pompe di calore ad assorbimento	140
4.2.7 - Le prestazioni delle pompe di calore	141
4.2.8 - La produzione di energia termica ed elettrica (o meccanica)	142

4.3 - Interventi per l'illuminazione e criteri del restauro	143
4.3.1 Criteri metodologici	143
4.4 - Le fonti rinnovabili di energia nel patrimonio culturale: opportunità, limiti e criticità	146
4.4.1 - Le energie rinnovabili nell'edilizia storica e le ricadute sul paesaggio	146
4.4.2 - I sistemi solari attivi nell'edilizia storica	147
4.4.3 - I sistemi solari passivi nell'edilizia storica	150
4.4.4 - Pompe di calore	154
4.4.5 - Biomasse	154
4.4.6 - La geotermia	155
4.4.7 - Centri e nuclei storici	155
4.4.8 - L'architettura rurale tradizionale e il suo contesto	158
4.5 - Analisi economica degli interventi	160
4.5.1 - Introduzione	160
4.5.2 - I parametri d'interesse	160
4.6 - Programma di conduzione e manutenzione degli impianti nell'edilizia storica	161
4.6.1 - Introduzione	161
4.6.2 - Il servizio di manutenzione	162
4.6.3 - Il piano di manutenzione	163
4.6.4 - La manutenzione degli impianti di climatizzazione	164
4.7 - Recupero e riqualificazione dell'edilizia moderna e contemporanea	164
4.7.1 - Ricerca di soluzioni progettuali e componenti tecnologiche innovative	164

5 – SCHEDE ILLUSTRATIVE

Scheda 1. <i>Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici in copertura di edifici storici. Il tetto dell'Università di Osnabrück</i>	168
Scheda 2. <i>Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici in copertura di edifici storici. Bonifica del tetto di una Grangia storica nella regione di Auvergne, Francia</i>	169
Scheda 3. <i>Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici sui prospetti di edifici storici. Pannello di segnalazione: Museo civico archeologico Ubaldo Formentini</i>	170
Scheda 4. <i>Fotovoltaico. Inserimento di vetrate fotovoltaiche in edifici storici. Le vetrate della Compagnie parisienne de distribution d'électricité</i>	171
Scheda 5. <i>Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici. Nuovo edificio a Parigi, prospetti fotovoltaici.</i>	172

Scheda 6. <i>Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici.</i>	173
<i>Ampliamento dell’Istituto di patologia di Erlangen - superfici vetrate fotovoltaiche</i>	
Scheda 7. <i>Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici.</i>	174
<i>Il cupolone nel giardino del castello Montabaur</i>	
Scheda 8. <i>Fotovoltaico – tipologie di superficie vetrate/ 1</i>	175
Scheda 9. <i>Fotovoltaico – tipologie di superficie vetrate/ 2</i>	176
Scheda 10. <i>Fotovoltaico. Concorso di idee “Energie rinnovabili per le isole minori e le aree marine protette” - 2013. Progetto per il faro di Strombolicchio</i>	177
6 - BIBLIOGRAFIA GENERALE	178
7 – GLOSSARIO	182
APPENDICE - Scheda dati relativa alla conoscenza del contesto	192
Gruppo di lavoro incaricato della redazione delle Linee di indirizzo	199

NOTA: la redazione dell’intero testo delle presenti Linee di indirizzo è frutto di un lavoro congiunto di tutti i membri del gruppo di lavoro costituito con d.d.g del 20/08/2013, nel quale tuttavia è possibile riconoscere i seguenti apporti specifici:

Alessandra Battisti: paragrafi 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6, 4.1.7, 4.1.8, 4.1.9, 4.1.10, 4.1.11, 4.4.3

Maria Grazia Bellisario: paragrafi 2.5.1, 4.7.1

Giovanni Carbonara: paragrafi 4.1.1, 4.2.1, 4.3.1

Stefano D’Amico: paragrafi 1.1, 2.1, 2.2.1, 2.2.2

Livio De Santoli, AICARR,: paragrafi 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.2.1, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 3.4.1, 3.4.2, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8, 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6, 4.5.1, 4.5.2, 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, 4.6.4

Marica Mercalli: paragrafo 2.3.7

Caterina Rubino: paragrafo 1.2, Glossario e Appendice

Francesco Scoppola e Roberto Banchini: paragrafi 4.4.1, 4.4.7, 4.4.8

Ugo Soragni e Irina Baldescu: paragrafo 4.4.2, schede illustrative 1-10

**LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA
NEL PATRIMONIO CULTURALE
Architettura, centri e nuclei storici ed urbani**

1 - OGGETTO DELLE LINEE DI INDIRIZZO

1.1. Finalità e criteri

Le presenti Linee di indirizzo forniscono indicazioni per la valutazione e per il miglioramento della prestazione energetica del patrimonio culturale tutelato, con riferimento alle norme italiane in materia di risparmio e di efficienza energetica degli edifici. Esse sono state redatte con l'intento di fornire indicazioni operative sia ai progettisti che al personale del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. Ai primi viene fornito uno strumento per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio storico nelle condizioni esistenti e criteri operativi per il progetto degli eventuali interventi di riqualificazione energetica, opportunamente calibrati sul rispetto delle specifiche peculiarità del patrimonio culturale. Al personale del Ministero viene offerto uno strumento scientifico snello, in grado tuttavia di coniugare rigore scientifico e aggiornamento tecnico sulla materia, così da consentirgli, anche in tale campo, di interloquire con piena consapevolezza con i progettisti o i proponenti. Finalità derivata è quella di fornire agli organi preposti alla tutela del patrimonio culturale criteri e metodi per una compiuta valutazione critica sia dei progetti presentati ai fini del rilascio delle autorizzazioni di legge, sia per quelli predisposti direttamente, affinché tengano in debita considerazione anche gli aspetti della prestazione energetica degli edifici tutelati. Tutto questo anche nell'ottica, ormai ineludibile, soprattutto per una pubblica Amministrazione, di un razionale contenimento dei costi di gestione delle strutture date in consegna.

Le Linee d'indirizzo affrontano anche le delicate ricadute di un uso efficiente dell'energia per la conservazione e la protezione dei centri e dei nuclei storici e dell'architettura rurale ai fini paesaggistici e sulla qualità dell'intervento contemporaneo per la riqualificazione degli edifici e dei nuclei urbani, ritendo tali tematiche strettamente interconnesse, se non indissolubili, rispetto a quelle dei beni architettonici sottoposti a tutela.

Il recente aggiornamento del **Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia**, operato dalla legge 90/2013¹ ha reso di fatto "condizionata" la deroga per la sua applicazione ai beni culturali, nonché, ai fini della tutela paesaggistica, alle ville, ai giardini, ai parchi che si distinguono per la loro non comune bellezza ed ai complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, tra cui i centri ed i nuclei storici. Infatti, sulla base del nuovo dettato normativo, qualora applicabile anche per gli edifici vincolati, il decreto si applica esclusivamente per:

¹ **LEGGE 3 agosto 2013, n. 90**, Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*, pubblicata sulla G.U. n. 181 del 3 agosto 2013

- l'attestazione della prestazione energetica (art. 6);
- l'esercizio, la manutenzione e le ispezioni degli impianti tecnici (art. 7).

L'esclusione dall'applicazione della norma suddetta è opportunamente prevista **solo nel caso** in cui si accerti: "...*previo giudizio dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione ai sensi del codice di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, (ovvero gli organi periferici del Ministero) [che] **il rispetto delle prescrizioni implichi un'alterazione sostanziale del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai profili storici, artistici e paesaggistici.***"² Tale importante innovazione comporta un'ulteriore assunzione di responsabilità per il Ministero e giustifica ancora di più l'esigenza di fornire, con un linguaggio tecnico ineccepibile, ma al tempo stesso comprensibile e adeguatamente sintetico, utili riferimenti operativi. Il documento redatto pertanto non fornisce soluzioni pronte all'uso, né prescrive metodologie a carattere vincolante, in considerazione delle peculiarità dei beni interessati, della naturale evoluzione nel tempo delle tecnologie adoperate e dei futuri aggiornamenti normativi, ma può solo guidare l'intelligenza e la sensibilità del personale e dei progettisti per il raggiungimento istituzionale primario della protezione e conservazione del patrimonio culturale, ottimizzandone, laddove possibile, il livello di prestazione energetica.³

² Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, art. 3, comma 3-bis. 1

³ Si veda a tal proposito l'art. 2, comma 1, lettere c) ed l-vicies) del D. Lgs. 192/2005

1.2. - Quadro delle principali disposizioni normative.

Il risparmio energetico ha assunto negli ultimi decenni un'importanza sempre crescente ed ha costituito uno dei primari obiettivi di governi ed istituzioni, nazionali ed internazionali, sia per la riduzione del consumo di combustibili, con conseguente riduzione dei costi di approvvigionamento, sia per la riduzione delle emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti, primo fra tutti il biossido di carbonio (CO₂), e quindi con conseguenti benefici per l'ambiente.

Negli ultimi anni, inoltre, la riduzione della spesa pubblica è diventata un imperativo ineludibile, e ciò ha aggiunto un'ulteriore finalità alle iniziative in materia di risparmio energetico, determinata dalla necessità per le pubbliche amministrazioni di ridurre i costi sostenuti per la conduzione degli immobili da esse gestiti, costi in cui una voce non trascurabile è rappresentata dalle forniture di energia e combustibili.

Numerose sono le disposizioni normative emanate sia a livello nazionale che comunitario nel corso degli anni e finalizzate al raggiungimento degli obiettivi prima delineati.

In Italia le primissime disposizioni sul tema del risparmio energetico risalgono al 1976 con la legge 30 aprile 1976, n. 373 recante "*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*". In tale norma venivano dettate le prime disposizioni in merito alle caratteristiche di prestazione dei componenti degli impianti termici, alla loro installazione, esercizio e manutenzione, nonché le caratteristiche di isolamento termico degli edifici da costruire o da ristrutturare, nei quali fosse prevista l'installazione di un impianto termico.

Ma la legge più nota in materia di contenimento energetico è senz'altro la Legge 9 gennaio 1991, n.10 recante "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*". Tale norma, attualmente in vigore pur con le modificazioni introdotte successivamente, abroga la legge 373/1976 e, insieme ai due decreti di attuazione (DPR 412 del 1993 e il DPR 551 del 1999) ha costituito uno dei principali punti di riferimento in questo campo, grazie soprattutto all'avanguardia dei suoi contenuti, come la divisione del territorio in aree geografiche con determinati periodi di esercizio e dati climatici. Essa inoltre introduce per la prima volta l'impiego di fonti rinnovabili (sole, vento, acqua, risorse geotermiche, maree e moto ondoso, la trasformazione dei rifiuti organici o di prodotti vegetali), quale ulteriore strumento per conseguire gli obiettivi di contenimento energetico.

Dopo il "Protocollo di Kyoto", ratificato nel 1997, con cui le nazioni partecipanti si impegnarono a ridurre le emissioni di biossido di carbonio, l'Europa emanò la direttiva comunitaria 2002/91/CE, che imponeva l'obbligo ai Paesi membri di sviluppare e adottare una metodologia per il calcolo dei consumi energetici degli edifici.

In Italia la direttiva è stata recepita con il d.lgs. 192 del 19 agosto 2005: "*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*". Tale decreto legislativo, integrato e modificato da vari provvedimenti successivi, ha come finalità la promozione del "*miglioramento della prestazione energetica degli edifici tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi*". Al d.lgs. 192/2005 hanno fatto seguito il D.P.R. 2/04/2009, n. 59 recante "*Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*" e il decreto del Ministero dello sviluppo economico 26/06/2009 con cui sono state pubblicate le "*Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*". Con tali norme, oltre a definire la

metodologia per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, vengono fissati i requisiti minimi richiesti sia agli edifici di nuova costruzione sia a quelli oggetto di importanti ristrutturazioni.

Ai sensi dell'art. 117, comma 5 della Costituzione, le norme sopra indicate sono applicate nelle ragioni fino all'entrata in vigore dei rispettivi regolamenti, che possono prevedere metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e requisiti minimi di efficienza energetica più rigorosi di quelli stabiliti dalla norma nazionale.

E' da rilevare che le disposizioni del d.lgs. 192 del 19 agosto 2005 si applicano sia all'edilizia pubblica che a quella privata e quindi investono direttamente le amministrazioni pubbliche nelle loro qualità di gestori degli immobili ad esse assegnati.

Per gli edifici soggetti alle disposizioni di tutela di cui al *decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42*, l'applicazione della norma prima citata è subordinata alla compatibilità con i principi di conservazione e tutela del patrimonio culturale.

I comma 3 e 3-bis e 3-ter dell'art. 3 recitano infatti:

Art. 3 Ambito di intervento

.....

3. Sono escluse dall'applicazione del presente decreto le seguenti categorie di edifici:

a) gli edifici ricadenti nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio, fatto salvo quanto disposto al comma 3-bis;

b)...

c)...

3-bis. Per gli edifici di cui al comma 3, lettera a), il presente decreto si applica limitatamente alle disposizioni concernenti:

a) l'attestazione della prestazione energetica degli edifici, di cui all'articolo 6;

b) l'esercizio, la manutenzione e le ispezioni degli impianti tecnici, di cui all'articolo 7.

3-bis-1. Gli edifici di cui al comma 3, lettera a), sono esclusi dall'applicazione del presente decreto ai sensi del comma 3-bis, solo nel caso in cui, previo giudizio dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione ai sensi del codice di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, il rispetto delle prescrizioni implichi un'alterazione sostanziale del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai profili storici, artistici e paesaggistici.

Come si evince, non si tratta di un'esclusione "tout court" dall'ambito di applicazione: infatti rimangono in ogni caso valide le disposizioni relative all'attestazione energetica degli edifici ed ai controlli sugli impianti termici, mentre tutte le altre saranno oggetto di valutazione del MiBACT, che, nell'esercizio istituzionale delle funzioni di tutela, dovrà valutare caso per caso quali interventi siano realizzabili e quali invece siano in contrasto con le esigenze di tutela e conservazione.

Le disposizioni in materia di risparmio energetico si sono infine arricchite negli ultimi anni di una serie di norme finalizzate al raggiungimento dell'obiettivo, individuato in sede comunitaria, di ricorrere alle fonti di energia rinnovabili in percentuali gradualmente maggiori.

A tal proposito è fondamentale il D.lgs 03/03/2011, n. 28 che ha, fra le sue finalità, la definizione de: "gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fino al 2020 in materia di quota complessiva di

energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e di quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti”.

Tale decreto legislativo, oltre ad individuare strumenti incentivanti, fornire disposizioni sia di tipo tecnico, sia in ordine a procedimenti amministrativi, sancisce l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti. Tuttavia, anche in questo caso tale obbligatorietà fa salve le esigenze di tutela e conservazione degli edifici sottoposti alle disposizioni del codice dei beni culturali, come disposto dall'art. 11, comma 2 del suddetto decreto legislativo. *(Le disposizioni di cui al comma 1 non si applicano agli edifici di cui alla Parte seconda e all'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, e successive modificazioni, e a quelli specificamente individuati come tali negli strumenti urbanistici, qualora il progettista evidenzi che il rispetto delle prescrizioni implica un'alterazione incompatibile con il loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai caratteri storici e artistici).*

Le norme qui richiamate non esauriscono il complesso panorama normativo, in continua evoluzione anche in considerazione del progresso tecnologico e dell'evoluzione delle leggi del mercato (si veda, da ultimo il D. Lgs. 4-7-2014 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*); qui si sono solo volute ricostruire le tappe fondamentali di un percorso che, nell'arco di alcuni decenni, ha segnato un'evoluzione tecnica, ma anche culturale, che apre la società e le istituzioni sempre a nuovi scenari.

E' d'obbligo infine citare, la norma UNI TS 11300, emanata dall'Ente Nazionale Italiana d'Unificazione che costituisce il riferimento per l'applicazione a livello nazionale della direttiva 2002/91/CE e che fornisce le indicazioni tecniche per la valutazione del fabbisogno di energia termica, dell'energia primaria degli edifici e l'utilizzo di energie rinnovabili.

2 - CONOSCENZA DEI CONTESTI

2.1. I beni architettonici in riferimento al Codice dei beni culturali e del paesaggio

Con una definizione di estrema sintesi, potremmo definire con il termine “beni architettonici”, evoluzione del termine “monumento”, (dal latino *monere*, ammonire, avvisare, far ricordare, avvertire, informare, ricordare) tutti quei manufatti immobili assoggettati a tutela ai sensi della normativa vigente sui beni culturali. In attuazione dell'art. 9 della Costituzione, dal 1 maggio 2004 la normativa italiana vigente è rappresentata dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (decreto legislativo 22 gennaio 2004, n.42 e ss.mm.ii., d'ora innanzi citato come: “Codice”) soggetto a due significativi aggiornamenti nel 2006 e nel 2008 e di tanto in tanto modificato attraverso articoli sparsi in leggi o decreti-legge poi convertiti.⁴

⁴ 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. Gli ultimi aggiornamenti intervenuti in ordine di tempo su alcuni articoli del Codice si devono alla legge 9 agosto 2013, n. 98, di conversione del decreto-legge 21 giugno 2013, n. 69, *Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia*, pubblicata sulla G.U. n. 194 del 20 agosto 2013 ed alla legge 7 ottobre 2013, n. 112 di conversione del decreto-legge 8 agosto 2013, n. 91, *Disposizioni urgenti per la tutela, la valorizzazione e il rilancio dei beni e delle attività culturali e del Turismo*, pubblicata sulla G.U. n. 236 dell'8 ottobre 2013. Sono poi

Il suddetto testo normativo, suddiviso in cinque parti⁵ e costituito complessivamente da 184 articoli, più due allegati (A e B), non si limita ad una semplice fusione ed organizzazione sistematica delle precedenti leggi in materia⁶, ma introduce anche significative novità, affrontando e regolamentando in maniera ampia ed articolata diverse fattispecie mai affrontate in precedenza, (si pensi alla valorizzazione) anche e soprattutto a seguito delle modifiche introdotte nel 2001 al Titolo V della nostra Costituzione. I beni architettonici rientrano nel più generale ed ampio ambito dei beni culturali, ed il Codice, dopo aver definito all'art. 2, comma 1, il patrimonio culturale come l'insieme dei beni culturali e dei beni paesaggistici, al comma seguente definisce i primi, rimandando ai successivi articoli 10 e 11 per una loro puntuale identificazione. Mutuando il dettato del citato articolo 10, possiamo pertanto cominciare a definire un **primo gruppo di beni architettonici, di proprietà pubblica**, come le cose immobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, compresi gli enti ecclesiastici civilmente riconosciuti, che presentano **interesse** artistico e storico. La culturalità potenziale delle suddette cose immobili è tuttavia subordinata ai seguenti **requisiti essenziali**:

- **scomparsa del loro autore;**
- **esecuzione risalente ad oltre settanta anni⁷.**

Questo primo gruppo di beni architettonici, avente i requisiti essenziali sopra delineati, è in via provvisoria **sottoposto a tutela fino a quando non venga conclusa, d'ufficio o ad istanza dei soggetti cui le cose appartengono, la verifica della sussistenza dell'interesse artistico o storico.**⁸

L'esito della verifica, che deve comunque concludersi entro 120 giorni dal ricevimento della richiesta⁹, ovvero dalla ricezione della comunicazione di avvio del procedimento in caso di avvio d'ufficio, può essere:

- **positivo, ed in tal caso i beni architettonici restano definitivamente sottoposti a tutela¹⁰;**

interventuti ulteriori aggiornamenti con: la legge 22 luglio 2014, n. 110, *Modifica al codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al decreto legislativo n. 42 del 2004, in materia di professionisti dei beni culturali, e istituzione di elenchi nazionali dei suddetti professionisti*; la legge 29 luglio 2014, n.106, di conversione del decreto-legge 31 maggio 2014, n. 83, *Disposizioni urgenti per la tutela del patrimonio culturale, lo sviluppo della cultura e il rilancio del turismo*; da ultimo, il decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla L. 11 novembre 2014, n. 164 recante: *Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive*. Per la redazione del presente contributo si fa riferimento al testo del Codice vigente alla data di settembre 2014.

⁵ Parte prima – Disposizioni generali, Parte seconda - Beni culturali, Parte terza-Beni paesaggistici, Parte quarta - Sanzioni, Parte quinta - Disposizioni transitorie, abrogazioni ed entrata in vigore

⁶ Ci si riferisce in particolare alle leggi n. 1089 e n. 1497 del 1939 e, più di recente, al decreto legislativo n. 490 del 1999

⁷ 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.

⁸ V. art. 12, comma 1

⁹ V. art. 12, comma 10

¹⁰ V. art. 12, comma 7

- **negativo, ed in tal caso le cose immobili non sono sottoposte a tutela e liberamente alienabili, ai fini del Codice, previa sdemanializzazione, qualora non vi ostino altre ragioni di interesse pubblico, se appartenenti al Demanio dello Stato, delle regioni e degli altri enti pubblici territoriali.**

Il Ministero, ha regolamentato puntualmente tutte le modalità per l'esecuzione della verifica d'interesse culturale, attraverso una serie di decreti (alcuni dei quali emanati anche di concerto con altri soggetti pubblici, quali l'Agenzia del Demanio ed il Ministero della Difesa), che nel dettaglio specificano tutti i passi da fare. Ha altresì predisposto uno specifico sistema informativo, denominato "Beni tutelati", che consente, previo rilascio di credenziali di accesso agli Enti richiedenti da parte dei competenti organi periferici del Ministero, di informatizzare l'intero procedimento di verifica.¹¹ In caso di esito positivo della verifica l'atto finale è un decreto¹² che, sulla base dell'istruttoria tecnica compiuta dalla Soprintendenza competente, dichiara l'interesse storico artistico del bene architettonico. Il decreto, a cura della Soprintendenza, è poi notificato al

¹¹ In particolare, per i beni architettonici, si fa riferimento ai decreti:

Decreto 6 febbraio 2004 (successivamente modificato dal Decreto 28 febbraio 2005), emanato di concerto con Agenzia del demanio, che stabilisce le modalità per la verifica dell'interesse culturale degli immobili appartenenti allo Stato, alle regioni, alle province, ai comuni e ad ogni altro ente o istituto pubblico;

Decreto 25 gennaio 2005, che definisce le modalità della verifica dell'interesse culturale per gli immobili di proprietà di persone giuridiche private senza fine di lucro.

Decreto 22 febbraio 2007, emanato di concerto con l'Agenzia del demanio e con il Ministero della Difesa - Direzione generale dei lavori e del demanio, che definisce le modalità per la verifica dell'interesse culturale degli immobili in uso al Ministero della difesa.

Per una compiuta descrizione operativa di tutto il procedimento di verifica dell'interesse culturale e del sistema informativo "Beni tutelati" si rimanda all'indirizzo web: <http://www.benitutelati.it/verifica.html>

Si segnala anche, a titolo informativo, che per i **beni mobili** è stato emanato il **Decreto 27 settembre 2006**, che definisce i criteri e le modalità per la verifica dell'interesse culturale dei beni mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro.

¹² Per un quadro dettagliato delle diverse competenze degli organi del Ministero, si rimanda al **decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 agosto 2014, n. 171** (d'ora innanzi: "dPCM" - pubblicato sulla G.U. – Serie generale - n. 274 del 25/11/2014) *Regolamento di organizzazione del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, degli uffici della diretta collaborazione del Ministro e dell'Organismo indipendente di valutazione della performance a norma dell'articolo 16, comma 4, del decreto-legge 24 aprile 2014, n. 66, convertito, con modificazioni, dalla legge 23 giugno 2014, n. 89*. Tale decreto abroga e sostituisce il previgente d.P.R. 26 novembre 2007, n. 233, *Regolamento di riorganizzazione del Ministero per i beni e le attività culturali, a norma dell'articolo 1, comma 404, della legge 27 dicembre 2006, n. 296*, così come modificato dal d.P.R. 2 luglio 2009, n. 91, affidando molte delle competenze in precedenza attribuite alle sopresse Direzioni regionali per i beni culturali e paesaggistici, inclusi i procedimenti di verifica e dichiarazione dell'interesse culturale, alle **Commissioni regionali per il patrimonio culturale**, presiedute da un Segretario regionale, cui partecipano i soprintendenti di settore e, laddove presenti, i dirigenti della Soprintendenza speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'area archeologica di Roma e la Soprintendenza speciale per Pompei, Ercolano e Stabia nonché il direttore del polo museale regionale operanti nel territorio della Regione. All'art. 41, comma 6, del dPCM si prevede comunque che le strutture organizzative previste dal d.P.R. 233/2007 e ss.mm.ii. sono fatte salve fino alla definizione delle procedure di conferimento degli incarichi dirigenziali relativi alla nuova organizzazione del Mibact. Ciò è stato in seguito ribadito anche dal Segretario generale con Circolare n. 43 del 26/11/2014.

proprietario, possessore e detentore del bene architettonico, nonché trascritto presso i servizi di pubblicità immobiliare.

Vi è poi un **secondo gruppo** di beni architettonici, **non di proprietà pubblica**, costituito dalle cose immobili che presentano interesse artistico e storico **particolarmente importante**¹³. In tal caso la culturalità del bene è sottoposta ai seguenti requisiti essenziali:

- **scomparsa del loro autore;**
- **esecuzione risalente ad oltre cinquant'anni**¹⁴;
- **provvedimento di dichiarazione dell'interesse culturale notificato al proprietario, possessore o detentore**¹⁵

La dichiarazione dell'interesse culturale, in maniera del tutto analoga a quanto già visto per la verifica, è anch'essa un decreto in esito ad un istruttoria compiuta dalla Soprintendenza competente, che ne avvia il procedimento, ed è parimenti trascritto, sempre a cura della medesima Soprintendenza, presso i servizi di pubblicità immobiliare. Come per la verifica, il termine per la conclusione del procedimento è pari a 120 giorni.¹⁶

Un **terzo gruppo** di beni architettonici previsto dal Codice prescinde dall'appartenenza pubblica o privata degli immobili, dalla morte dell'autore e dal periodo di esecuzione degli stessi e presenta come unico requisito essenziale l'emanazione di un decreto di dichiarazione di interesse **particolarmente importante** per il loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte, della scienza, della tecnica, dell'industria e della cultura in genere, ovvero quali testimonianze dell'identità, della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose.¹⁷ In tal modo è possibile far rientrare tra i "beni architettonici", attraverso una dichiarazione di interesse culturale, ad esempio, anche edifici di architettura contemporanea. Si segnala che i beni architettonici afferenti a questo terzo gruppo sono inalienabili se appartenenti ad Enti titolari di demanio.¹⁸

A seconda della proprietà, possono rientrare tra il **primo** ed il **secondo** gruppo di beni architettonici¹⁹:

- le ville i parchi e i giardini di interesse artistico o storico²⁰;
- le pubbliche piazze, vie, strade ed altri spazi urbani di interesse artistico o storico;
- le architetture rurali²¹.

¹³ V. art 10, comma 3, lettera a)

¹⁴ V. art. 10, comma 5

¹⁵ V. artt. 13, 14 e 15

¹⁶ Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 18 novembre 2010, n. 231, allegato 1, procedimento n. 1

¹⁷ V. art. 10, comma 3, lettera d)

¹⁸ V. Codice civile artt. 822-823 e Codice artt. 53 e 54, comma 1, lettera d-bis)

¹⁹ V. art. 10, comma 4, lettere f), g), l).

²⁰ Rientrano in tale ambito a pieno diritto tra i beni architettonici anche le ville vesuviane del XVIII secolo, oggetto della legge 29 luglio 1971, n. 578 *Provvedimenti per le ville vesuviane del XVIII secolo* come ha recentemente chiarito anche una recente sentenza del Consiglio di Stato – v. C.d.S. Sez. VI – Sentenza 2420/2013

²¹ Sulle architetture rurali si veda anche la legge 24 dicembre 2003, n. 378, *Disposizioni per la tutela e la valorizzazione dell'architettura rurale*, pubblicata nella G.U. n. 13 del 17 gennaio 2004, il decreto del Ministero per i

E' appena il caso di ricordare tra gli immobili oggetto di specifiche disposizioni di tutela²² anche gli studi d'artista, per i quali il Codice prevede il divieto di modifica della destinazione d'uso anche per la tipologia tradizionale a lucernario se adibiti a tale uso da almeno venti anni.²³

Costituiscono infine un **quarto gruppo** di beni architettonici, tutti quei manufatti immobili sottoposti a tutela **sulla base delle leggi previgenti al Codice** e come tali oggetto in passato di apposite notifiche e dichiarazioni di cui il medesimo Codice ribadisce l'efficacia²⁴. Rientrano in tale **quarto gruppo** anche beni architettonici ricompresi in città o parti di esse, complessi architettonici, monumenti nazionali, oggetto di specifiche leggi²⁵.

La sottoposizione ad un regime di tutela di un edificio e come tale "bene architettonico" comporta, tra i tanti, alcuni precisi **obblighi conservativi ineludibili** che si riassumono qui nel seguito brevemente.

I beni non possono essere distrutti, deteriorati, danneggiati o adibiti a usi non compatibili con il loro carattere storico o artistico, ovvero tali da pregiudicarne la conservazione²⁶.

L'esecuzione di **opere e lavori di qualunque genere deve essere preventivamente autorizzata dalla Soprintendenza belle arti e paesaggio**, ovvero dalla **Commissione regionale per il patrimonio culturale** in caso di interventi di demolizione o rimozione definitiva (salvo casi di urgenza per i quali l'autorizzazione può essere rilasciata dal Soprintendente competente dandone contestuale informazione al Segretario regionale) ovvero dal **Segretario regionale** in caso di compresenza di competenze di più Soprintendenze di settore.²⁷ **L'autorizzazione relativa ad interventi in materia di edilizia pubblica e privata** (esclusi i casi della conferenza di servizi e della valutazione di impatto ambientale - VIA) è **rilasciata entro 120 giorni dalla ricezione della richiesta**, fatte salve eventuali sospensioni per richieste di chiarimenti, elementi integrativi o accertamenti di natura tecnica; per quest'ultimi tuttavia il periodo di sospensione dei termini non può superare i 30 giorni.²⁸

La specificità dei beni architettonici è ribadita dal fatto che gli interventi proposti, siano essi di manutenzione o di restauro, devono rispettivamente **mirare al mantenimento dell'integrità**,

beni e le attività culturali del 6 ottobre 2005 e la Direttiva del Ministero per i beni e le attività culturali del 30 ottobre 2008 rinvenibile anche sul sito della Direzione generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea: <http://www.pabaac.beniculturali.it>

²² V. art. 11 comma 1 lettera b)

²³ V. art. 51

²⁴ Si fa riferimento alle notifiche effettuate ai sensi delle leggi: n. 364 del 20 giugno 1909, n. 778 dell'11 giugno 1922, n. 1089 del 1 giugno 1939 e delle dichiarazioni effettuate sulla base del decreto legislativo n. 490 del 29 ottobre 1999; il Codice all'art. 128, comma 1, prevede per le notifiche effettuate ai sensi della legge 364/1909, che non ne stabiliva la trascrizione e per le quali già la legge 1089/39 ed il T.U. 490/99 avevano previsto il rinnovo, la sottoposizione al procedimento di dichiarazione dell'interesse culturale, ai sensi del vigente art. 14 del Codice, facendone comunque salva nelle more la validità.

²⁵ V. Art. 129. Basti pensare qui ad esempio, tra le tante, alla legge 16 aprile 1973, n. 171, *Interventi per la salvaguardia di Venezia*-ovvero alle Ville Vesuviane del XVIII secolo, incluse nell'elenco approvato con DM 19 ottobre 1976, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 13 della già citata legge 578/1971 (v. nota 18);

²⁶ Art. 20, comma 1

²⁷ V. nota 12. Per una compiuta descrizione della struttura organizzativa del Ministero, con gli indirizzi ed i riferimenti di tutte le sue strutture, si rimanda al sito web: <http://www.beniculturali.it>;

²⁸ V. art. 22

dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti, e garantire comunque la trasmissione alle future generazioni dei suoi valori culturali.

Tale principio ineludibile è ribadito peraltro dal Codice anche con riferimento agli aspetti strutturali del restauro che vanno infatti nella direzione del miglioramento strutturale, invece che dell'adeguamento *tout court* alle normative tecniche per le costruzioni e deve essere ancor più evidenziato e rafforzato anche per gli eventuali interventi di adeguamento impiantistico²⁹.

E' opportuno far presente che l'esecuzione di lavori od opere di qualunque genere su beni architettonici, così come sopra definiti, senza autorizzazione comporta, fatto salvo tutto il dispositivo sanzionatorio previsto dalla vigente normativa in materia urbanistica, l'applicazione di sanzioni sia amministrative da parte del Ministero, (di rimessione in pristino o pecuniarie) sia penali da parte dell'Autorità giudiziaria. Sono ugualmente previste sanzioni penali anche per chiunque destini un bene architettonico ad un uso incompatibile con il suo carattere storico-artistico, ovvero tale da pregiudicarne la conservazione o l'integrità.³⁰

Ad ulteriore chiarimento delle tematiche trattate nel presente paragrafo, si ritiene utile allegare anche un sintetico schema grafico esplicativo (v. fig. 1)

I BENI ARCHITETTONICI IN BASE AL CODICE DEI BENI CULTURALI E DEL PAESAGGIO (D.LGS N. 42/2004)

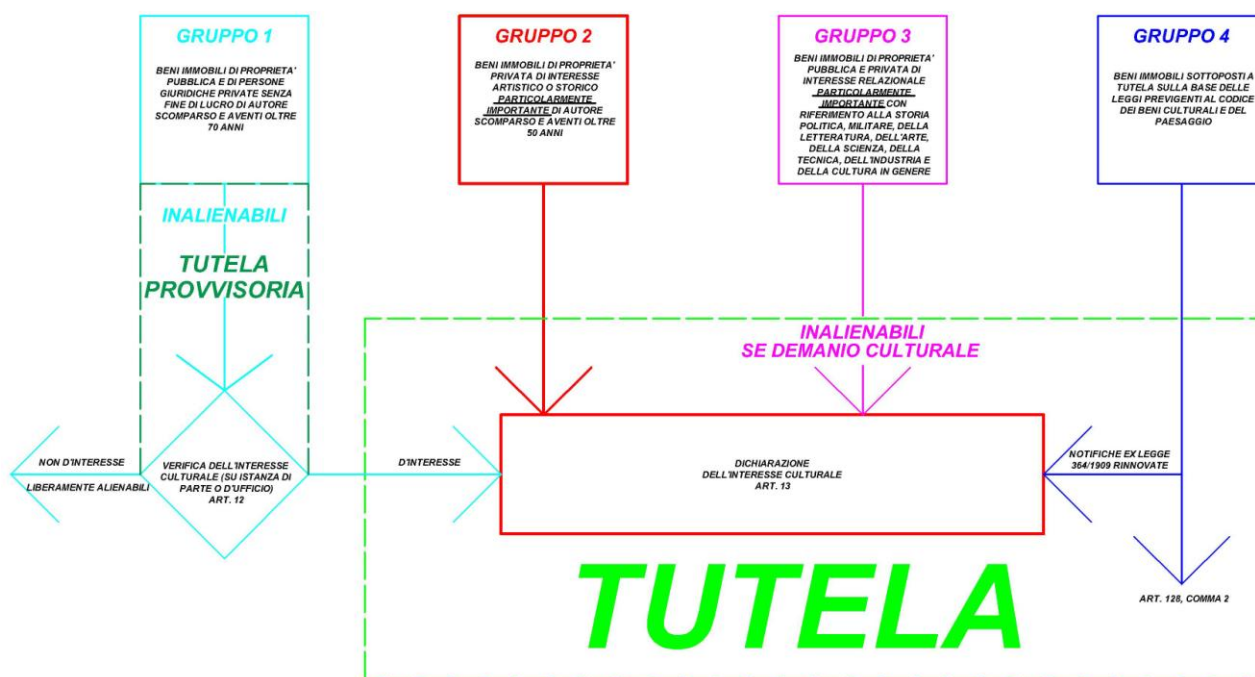


Fig. 1 – Schema riassuntivo del vigente regime di tutela dei beni architettonici sulla base del Codice dei beni culturali e del paesaggio

²⁹ V. art. 29, comma 4; si segnala che nelle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) adottate con Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 09/02/2011 (pubblicata sulla G.U. n. 47 del 26/02/2011) vi è uno specifico paragrafo, il 6.2, espressamente nominato: "influenza degli interventi di adeguamento impiantistico".

³⁰ V. artt. 160, 169 e 170

2.2. Analisi dei caratteri tecnico-costruttivi dell'edilizia storica

2.2.1 – Lettura storica degli interventi sull'edificio

La conoscenza dell'edificio attinge ad una serie eterogenea ed ampia di informazioni che afferiscono principalmente a:

- fonti documentarie ed archivistiche;
- fonti bibliografiche;
- osservazione diretta ed analitica del fabbricato nella sua interezza (dalle fondazioni alle coperture, al contesto circostante).

L'esito finale dell'attività di lettura storica deve consentire:

- 1) la ricostruzione temporale delle vicende costruttive del fabbricato e degli interventi succedutisi su di esso fino ad oggi;
- 2) la ricostruzione delle sue destinazioni d'uso nel tempo;
- 3) l'eventuale accertamento, rilevamento e verifica di sistemi impiantistici originari, storici o esistenti;
- 4) l'individuazione dei materiali e delle tecnologie edilizie adottati, in riferimento anche alla tradizione costruttiva locale e ai dati climatici del sito in esame;
- 5) l'individuazione di eventuali interventi precedenti volti al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, con una valutazione critica della loro efficacia.

2.2.2. Rilievo geometrico e dei materiali costitutivi

Per le finalità delle presenti Linee d'indirizzo, il **rilievo geometrico** dell'edificio non differisce né concettualmente né operativamente da quello finalizzato al restauro.³¹

Le metodologie da adottare per il prelevamento delle misure vanno calibrate su una serie di parametri che si possono sintetizzare in:

- finalità del rilevamento;
- caratteristiche intrinseche dell'edificio;
- tempi;
- costi.

Dal punto di vista operativo, la configurazione ideale è quella dell'integrazione critica delle diverse metodologie di rilevamento, sia dirette che indirette (fotogrammetria, stereofotogrammetria, scansione laser) accompagnate da un puntuale inquadramento topografico dell'edificio e supportate

³¹ Tra la sterminata bibliografia disponibile sui temi del rilevamento architettonico a fini di restauro, ci si limita qui, per brevità, a segnalare: G. Carbonara, *Restauro dei monumenti. Guida agli elaborati grafici*, Liguori Editore, 1990; Idem, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori Editore, 1997, in particolare pp. 467-493; M. Docci, D. Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, 2009, con ricchissima bibliografia allegata; Ministero per i Beni e le Attività Culturali – Segretariato generale, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale. Allineamento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni*, Gangemi editore, 2010, in particolare pp. 40-46 e 102-104.

da una minuziosa documentazione fotografica, sia generale che di dettaglio, da estendersi anche al contesto ambientale, con indicazione dei punti di scatto.

In ogni caso, a prescindere dalle metodologie adottate, **l'esito finale del rilevamento geometrico**, attraverso la redazione di elaborati grafici in scala opportuna, in grado di facilitarne la piena e completa lettura univoca per chiunque, **deve consentire**:

- la corretta ricostruzione dell'inserimento urbano del fabbricato e del suo contesto ambientale (esposizione, soleggiamento, adiacenze, etc.);
- la conoscenza delle sue dimensioni attuali, sia in pianta che in alzato;
- la quantificazione di tutte le sue superfici, sia interne che esterne, e dei suoi volumi.

Particolare attenzione deve essere posta nella valutazione degli spessori delle murature, dei solai, delle volte e delle coperture; parimenti diventa fondamentale registrare con particolare cura la presenza di finte volte, controsoffitti, aggetti, cavedi, cavità, canne fumarie, nicchie e discontinuità, sia attraverso osservazione diretta o sondaggio manuale, sia, laddove possibile, attraverso indagini non distruttive di tipo indiretto (es. termografia, georadar, indagini soniche) ovvero debolmente distruttive, se possibile (endoscopie, piccoli saggi, prelievi, etc.). In ogni caso l'uso delle indagini, se davvero indispensabili per dirimere aspetti non altrimenti investigabili, deve comunque essere limitato allo strettamente necessario, compatibilmente con le risorse disponibili, l'accessibilità degli spazi ed il pregio storico-artistico dell'edificio. Analoga cura deve essere posta nel rilevamento degli infissi, se del caso, anche attraverso la redazione di un apposito abaco che ne evidenzi la presumibile datazione e le diverse tipologie.

Sul rilievo geometrico vanno poi registrate tutte le diverse informazioni riguardanti sia la presenza di eventuali sistemi impiantistici precedenti, anche storici, sia i diversi materiali costitutivi del fabbricato, laddove identificabili, attraverso simbologie chiare, preferibilmente a colori, evidenziandone anche lo stato di conservazione. Parimenti devono essere riportati i punti di eventuali saggi, indagini, prove o prelievi.

Anche qui, laddove si rinvenivano diverse tipologie murarie, tutte debitamente localizzate sul rilievo geometrico, sia in pianta che in alzato, la redazione di un abaco che ne evidenzi tessitura, andamento, materiali e loro dimensioni, può facilitarne ulteriormente la lettura e la comprensione anche del loro "rendimento" dal punto di vista energetico.

Il rilievo geometrico, corredato delle informazioni sopra menzionate, diventa inoltre strumento indispensabile anche per la redazione dell'Attestazione della Prestazione Energetica dell'edificio, laddove prevista.

La conoscenza del contesto costituisce, come detto, il punto di partenza fondamentale per esaminare le caratteristiche di un edificio dal punto di vista energetico, per analizzare le criticità presenti e per valutare gli eventuali ambiti di intervento.

I dati fondamentali relativi alla conoscenza del contesto possono essere utilmente riassunti nella scheda riportata in appendice "*Scheda dati relativa alla conoscenza del contesto*".

La compilazione di tale scheda, a valle del processo di conoscenza, può essere utile per disporre dei dati essenziali in modo sintetico ed immediato.

Come tutti gli strumenti schedo grafici, essa è tanto più utile, quanto maggiore è il numero di edifici o siti da gestire, in quanto la disponibilità di dati sintetici, omogenei e comparabili può consentire di effettuare rapidamente valutazioni a livello esteso e predisporre liste di priorità per i successivi approfondimenti.

2.3 LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE NEGLI EDIFICI STORICI

2.3.1 Introduzione

La condizione di benessere di un individuo dipende dallo stato psicofisiologico derivante dall'interazione dell'organismo e dei suoi canali sensoriali con l'ambiente fisico che lo circonda, con particolare riferimento agli aspetti termo-acustici, illuminotecnici e di qualità dell'aria che nel loro insieme costituiscono la cosiddetta qualità dell'ambiente interno, anche detta IEQ, *Indoor Environmental Quality*. L'attribuzione di un giudizio oggettivo alla condizione di benessere richiede quindi la conoscenza di parametri fisici caratteristici dell'ambiente fisico riferiti agli aspetti citati e misurabili, che, come è stato ampiamente dimostrato, influenzano non solo il benessere, più o meno significativamente i consumi energetici di un edificio, la salubrità dell'ambiente e la produttività dei lavoratori. Per la valutazione della IEQ si fa generalmente riferimento alla norma UNI EN 15251, che attualmente è in revisione e la cui nuova versione sarà pubblicata entro il 2015; in particolare, la norma prende in considerazione:

- il comfort termico;
- il comfort visivo;
- il comfort acustico;
- la qualità dell'aria;

Per una analisi più dettagliata delle problematiche ambientali ed energetiche relative alla qualità ambientale si faccia riferimento al testo della collana AiCARR, *La qualità degli ambienti interni non industriali* (2014)

Nel caso in cui l'edificio storico sia anche sede espositiva di collezioni d'arte, come spesso succede nel nostro Paese, in cui molti musei sono ospitati appunto in edifici storici, bisogna tener conto delle norme sulla conservazione dei beni culturali recentemente emanate, soprattutto in riferimento agli aspetti termo-igrometrici, illuminotecnici e di qualità dell'aria.

2.3.2 Il comfort termico

Come ben noto, dal punto di vista oggettivo le condizioni di comfort termico globale si valutano con l'indice PMV, Voto Medio Previsto, che rappresenta il voto che mediamente un soggetto attribuirebbe all'ambiente termico al quale è esposto sulla scala di sensazione ASHRAE ed è la sintesi tra la valutazione oggettiva e quella soggettiva del comfort in quanto correla i risultati di sperimentazioni su persone con quelli ottenuti dal bilancio di energia sul corpo umano. Il PMV, il cui valore si calcola con l'uso di appositi programmi di calcolo, è espresso in funzione di sei parametri, dei quali quattro sono oggettivi (temperatura dell'aria, pressione parziale di vapore, velocità relativa dell'aria, temperatura media radiante) e due soggettivi (metabolismo energetico e isolamento termico dell'abbigliamento). All'indice PMV è correlato l'indice PPD (Percentuale Prevista di Insoddisfatti).

Il discomfort termico locale è dovuto a disuniformità delle variabili ambientali; le cause di discomfort localizzato sono sostanzialmente quattro:
elevata differenza verticale della temperatura dell'aria;
pavimento troppo caldo o troppo freddo;
correnti d'aria;
elevata asimmetria della temperatura media radiante.

Anche per il discomfort locale viene definita la percentuale di insoddisfatti, PD, la cui espressione di calcolo varia al variare della causa di discomfort, come riportato nell'apposita norma UNI. Gli indici PMV e PPD e gli indici di discomfort locale sono oggetto della norma UNI EN ISO 7730, ripresa dalla norma UNI EN 15251, che individua tre categorie di ambienti come mostrato nelle Tabelle 1 e 2.

Tab. 1 - Classi di comfort termico globale secondo la norma UNI EN ISO 7730.

Grandezza	Condizione		
	classe A	classe B	classe C
PMV	-0,20 ÷ 0,20	-0,50 ÷ 0,50	-0,70 ÷ 0,70
PPD	<6%	<10%	<15%

Tab. 2 - Classi di discomfort termico locale secondo la norma UNI EN ISO 7730.

Grandezza	Condizione					
	Classe A		Classe B		Classe C	
	Limite	PD [%]	Limite	PD [%]	Limite	PD [%]
Differenza verticale di temperatura	<2 °C	<3	<3 °C	<5	<4 °C	<10
Asimmetria radiante -soffitto caldo	<5 °C	<5	<5 °C	<5	<7 °C	<10
Asimmetria radiante -soffitto freddo	<14 °C	<5	<14 °C	<5	<18 °C	<10
Asimmetria radiante -parete calda	<23 °C	<5	<23 °C	<5	<35 °C	<10
Asimmetria radiante -parete fredda	<10 °C	<5	<10 °C	<5	<13 °C	<10
Corrente d'aria	-	<10 %	-	<20 %	-	<30%
Temperatura del pavimento	19 ÷ 29 °C		19 ÷ 29 °C		17 ÷ 31 °C	

2.3.3 Il comfort visivo

Per la valutazione del comfort visivo negli ambienti di lavoro si fa riferimento alle norme UNI EN 12464-1 e UNI EN 15251; per gli edifici residenziali non ci sono particolari prescrizioni. In particolare, la norma UNI EN 15251 riporta in un'appendice informativa alcuni valori di illuminamento mantenuto, indice di abbagliamento e resa cromatica per diverse destinazioni d'uso degli ambienti.

2.3.4 Il comfort acustico

Tra tutti gli aspetti della qualità ambientale negli ambienti confinati non industriali, il comfort acustico è sicuramente quello più regolato da leggi: si pensi al DPCM 14 novembre 1997, che impone limiti di immissione sonora da sorgenti esterne all'ambiente al fine di limitare l'inquinamento acustico, o al DPCM 5 dicembre 1997 sui requisiti acustici passivi degli edifici, che prende in considerazione anche il problema del rumore prodotto dagli impianti tecnologici presenti nell'edificio, problematica esaminata anche nella norma UNI EN 15251 ed aggiornata nella recente revisione della UNI 10339.

La trasmissione di energia tra ambienti chiusi può avvenire sia a causa di una sorgente sonora che mette in vibrazione l'aria in un ambiente e la trasmette a un altro, sia a causa di impatti o vibrazioni causate da sorgenti a diretto contatto con le strutture. Ne deriva che per valutare l'ambiente dal

punto di vista acustico, è necessario determinare indicatori che sono riferiti sia alla struttura che alle sorgenti disturbanti presenti in ambiente.

La norma UNI EN 15251 fornisce alcuni valori di progetto relativi al livello di pressione sonora per diverse destinazioni d'uso degli ambienti.

2.3.5 La qualità dell'aria

La qualità dell'aria all'interno degli ambienti, anche detta IAQ (*Indoor Air Quality*) è importante per due motivi: garantire il comfort dal punto di vista olfattivo e salvaguardare la salute degli occupanti. Per ottenere una buona qualità dell'aria sono disponibili più tecniche, ma essenzialmente, è necessario ventilare gli ambienti, naturalmente o meccanicamente. A questo proposito va sottolineato che per ventilazione naturale si intende quella ottenuta con sistemi basati su differenze di temperatura o di pressione, che quindi non va confusa con l'aerazione, che è la semplice apertura di porte e finestre.

2.3.6 Come migliorare la qualità ambientale (IEQ, *indoor environment quality*)

Per migliorare la IEQ si può agire sull'involucro o sull'impianto.

Gli interventi sull'involucro consistono essenzialmente nell'isolamento termico delle pareti opache, nella sostituzione degli infissi e nelle schermature. Tutti questi interventi agiscono innanzitutto sulla superficie interna delle pareti e quindi sulla temperatura media radiante; di conseguenza variano la temperatura operativa, che – combinazione della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante delle superfici interne - è quella effettivamente percepita dalle persone esposte all'ambiente, influenzando la sensazione di comfort.

Per quanto riguarda poi gli interventi sull'impianto, la nuova versione della norma UNI 10339 considera come prioritarie le condizioni di comfort termico e di qualità dell'aria. In particolare, la UNI 10339 prevede che la progettazione degli impianti aeraulici per la climatizzazione possa seguire un approccio prescrittivo o prestazionale. Per il comfort termico l'applicazione del metodo prestazionale contempla il rispetto delle norme UNI EN ISO 7730 e UNI EN 15251 (UNI, 2006, 2008a), mentre quello prescrittivo fa riferimento al rispetto di valori della temperatura operativa, dell'umidità relativa e della velocità dell'aria all'interno del volume convenzionale occupato di cui alcuni esempi sono riportati nelle Tabelle rispettivamente 3, 4 e 5.

Per quanto riguarda la qualità dell'aria, il metodo prescrittivo si basa sul calcolo della portata di aria esterna necessaria per la diluizione degli inquinanti legati alla presenza delle persone e di quelli emessi dall'ambiente, opportunamente corretta per tener conto di una serie di parametri tra cui l'efficienza di ventilazione, l'adozione di idonei sistemi di filtrazione dell'aria esterna e il controllo dell'umidità relativa e della velocità dell'aria nel volume convenzionale occupato. Il metodo prestazionale, invece, richiede una serie di operazioni schematizzata in Figura 2. In Tabella 6 sono riportati, a titolo di esempio, alcuni valori di portata di aria esterna di diluizione suddivisi per persone e superficie.

Tab 3 – Classi di qualità dell'ambiente termico in funzione dei valori della temperatura operativa t_o secondo la norma UNI 10339

	Classi di qualità dell'ambiente termico					
	Classe elevata		Classe media		Classe bassa	
	t_o minima di progetto invernale [°C]	t_o massima di progetto estiva [°C]	t_o minima di progetto invernale [°C]	t_o massima di progetto estiva [°C]	t_o minima di progetto invernale [°C]	t_o massima di progetto estiva [°C]
Metabolismo energetico 1,2 met (attività sedentaria)	21	25,5	20	26	19	27
NOTA: Valori validi per resistenza termica dell'abbigliamento pari a 0,5 clo nella stagione estiva e 1,0 clo in quella invernale e per soggetti esposti all'ambiente in questione per un periodo di permanenza maggiore di 15 min.						

Tab. 4 - Classi di qualità dell'ambiente termico in funzione dei valori dell'umidità relativa UR secondo la norma UNI 10339 .

Classi di qualità dell'ambiente termico					
Classe elevata		Classe media		Classe bassa	
UR Minima di progetto invernale [%]	UR massima di progetto estiva [%]	UR minima di progetto invernale [%]	UR massima di progetto estiva [%]	UR minima di progetto invernale [%]	UR massima di progetto estiva [%]
45	55	40	60	35	65
NOTA: In regime invernale il sistema di regolazione automatica, in accordo con le esigenze di benessere e di efficienza energetica, potrà determinare valori di umidità relativa inferiori a quelli minimi di progetto. Simmetricamente in regime estivo il sistema di regolazione automatica potrà determinare valori di umidità relativa più elevati di quelli massimi di progetto					

Tab. 5 – Intervallo di variazione dei valori della velocità dell'aria in estate e in inverno secondo la norma UNI 10339.

Destinazione d'uso dell'ambiente	Velocità dell'aria, v_a [m s ⁻¹]	
	Riscaldamento	Raffrescamento
Residenza e assimilabili	da 0,05 a 0,15	da 0,05 a 0,20
Uffici in genere, locali riunione	da 0,05 a 0,15	da 0,05 a 0,20

Tab. 6 – Esempi di valori di portata di aria esterna di diluizione riferiti alle classi di qualità dell'ambiente secondo la UNI 10339.

Destinazione d'uso dell'ambiente	Portata per persona			Portata per superficie		
	$q_{v.o.p}$ [$10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ per persona]			$q_{v.o.s}$ [$10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$]		
	Elevata	Media	Bassa	Elevata	Media	Bassa
Residenza e assimilabili	4,5	3,0	2,0	0,14	0,14	0,14
Uffici	8,5	7,5	5,5	0,5	0,4	0,3
uffici collettivi- multipli tipo open space	8,5	7	5	0,7	0,6	0,4
locali riunione	8,5	7	5	0,7	0,6	0,4

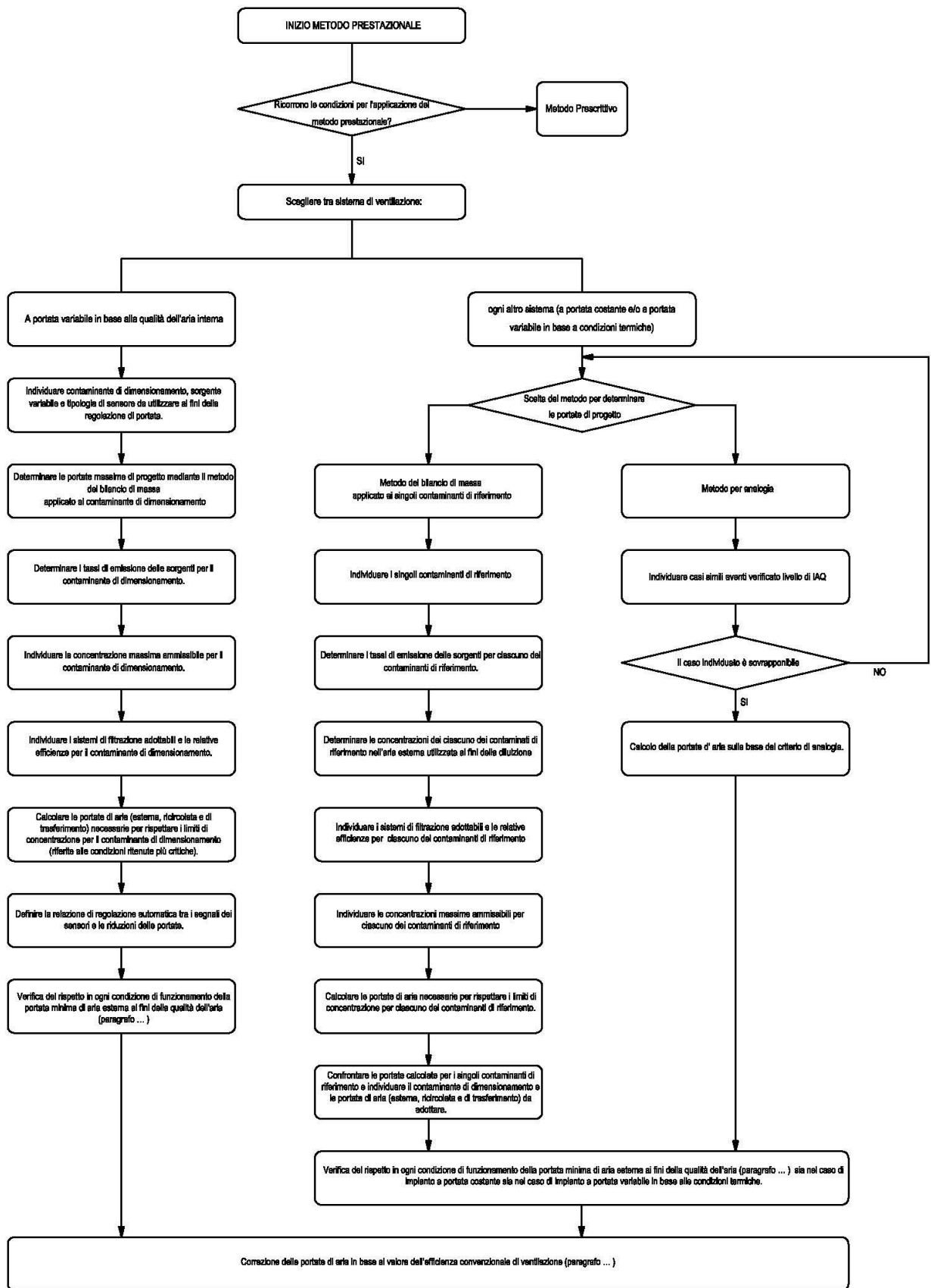


Fig. 2 – Diagramma di flusso del metodo prestazionale per la IAQ

2.3.7 I requisiti ambientali del patrimonio museale mobile

I musei sono i luoghi deputati alla conservazione e alla esposizione dei beni che fanno parte delle loro collezioni. Tali beni devono essere fruibili, cioè regolarmente esposti ai visitatori, poiché lo scopo e l'obiettivo di ogni istituto museale è quello di svolgere un servizio culturale per il pubblico, attraverso l'organizzazione di percorsi all'interno delle sue sale che permettano di conoscere le opere e la loro storia 'a fini di studio, di educazione e di diletto'. Quanto detto riassume le definizioni di museo che sono state formulate dall'ICOM³² e più recentemente dal Codice dei Beni culturali e del Paesaggio (D.lgs 42/2004 s.m.i. art.101,c.2 l.a): *“Si intende per “museo”, una struttura permanente che acquisisce, conserva, ordina ed espone beni culturali per finalità di educazione e di studio”*

Partendo allora dal concetto che il museo sia il luogo che meglio debba garantire la conservazione delle opere, tanto che spesso si sono adottate misure di trasferimento di beni, dal territorio e da luoghi di appartenenza non idonei, all'interno dei musei, pur con la consapevolezza della loro decontestualizzazione, per assicurare la loro sopravvivenza, è opportuno nell'ambito di questa specifica trattazione di tematiche connesse al risparmio energetico negli edifici di carattere storico, avanzare alcune osservazioni.

Si può innanzitutto dire che nel territorio nazionale la maggior parte dei musei sono ubicati in edifici storici, sia perché costituiti da collezioni 'nobiliari' che in quegli edifici avevano trovato la loro prima collocazione, sia perché edifici storici di vario carattere sono stati individuati nel tempo come giusti contenitori di collezioni di diversa provenienza. Tali edifici pongono ad evidenza complessi problemi di adeguamento per la 'messa a norma' degli impianti e per il rispetto di tutte le misure di sicurezza delle strutture e sono di conseguenza oggetto di specifiche deroghe

Altra situazione è ovviamente quella rappresentata da edifici che sono nati e sono stati progettati per essere dei musei, avendo dunque fin dall'inizio quelle caratteristiche tipologiche e funzionali atte al loro uso, e alla loro destinazione, e alla corretta disposizione al loro interno delle opere.

Quando nel 1998 si sentì l'esigenza di formulare un *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*³³ l'Amministrazione dei beni culturali, attraverso un lungo studio al quale parteciparono i migliori specialisti e tecnici di ogni ambito disciplinare contemplato, produsse una coerente sintesi di tutte le problematiche connesse alla gestione e al funzionamento dei musei, anche in vista di un trasferimento di gestione di alcuni musei statali, secondo il principio di sussidiarietà, alle regioni, alle province e ai comuni, passaggio che poi non avvenne ma la cui previsione consentì almeno una profonda riflessione sul fenomeno 'museo' e sugli aspetti più rilevanti posti, dal funzionamento e dal necessario adeguamento delle vecchie strutture ai più aggiornati parametri internazionali.

Nello stesso tempo, come noto, la metodologia conservativa e di restauro dei beni mobili non può prescindere dal riconoscimento dello stretto legame tra opera e ambiente nel quale si trova, per cui

³² Nel *Codice di deontologia professionale*, adottato dalla 15.a Assemblea generale dell'ICOM riunita a Buenos Aires, Argentina, il 4 novembre 1986, il museo è così definito *“Un'istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società e del suo sviluppo aperta al pubblico, che compie ricerche sulle testimonianze materiali dell'uomo e del suo ambiente, le acquisisce, le conserva, le comunica e soprattutto le espone”*.

³³ *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, emanato dalla commissione paritetica istituita ai sensi dell' art. 150, comma 6, del D.lgs. n. 112/1998, pubblicato in G.U. 19 ottobre 2001, n. 244, S.O.

nessun serio esame sulla capacità conservativa di un ambiente museale può essere attuato senza un approfondito controllo di parametri chimico-fisici quali temperatura, umidità relativa, luce, qualità dell'aria, etc.

Partendo dunque da quanto contenuto nell'*Atto di indirizzo*, che ancora oggi si pone come punto di riferimento e di partenza per ogni seria riflessione sui musei, troviamo già affermato nell'*Ambito III* dedicato alle strutture del museo che: “ (...) *il museo deve garantire che le sue strutture abbiano le proprietà e le caratteristiche che conferiscono ai servizi da esse forniti la capacità di soddisfare le esigenze delle sue collezioni, del suo personale e del suo pubblico, siano cioè in grado di conseguire specifici obiettivi di qualità.*” Ed anche che: “*Il museo deve garantire la disponibilità di strutture adeguate in termini sia tipologici che dimensionali, flessibili (capaci di mutare nel tempo in relazione al mutare delle esigenze), attrezzabili (capaci di soddisfare esigenze diverse) e funzionali (efficaci nel garantire il raggiungimento degli obiettivi). Inoltre tali strutture devono risultare controllabili (con prestazioni modulabili in relazione alle effettive esigenze), manutenibili (tali da poter essere mantenute efficienti nel tempo), accessibili e riconoscibili.*”

In questo assunto di base preme sottolineare l'affermazione che le strutture museali debbano essere ‘flessibili’ ed ‘attrezzabili’ per permettere di modificare di volta in volta gli allestimenti ma anche ‘controllabili’ e ‘manutenibili’, al fine di migliorare nel tempo le loro prestazioni.

Tornando allora alla funzione cardine del museo o ad una delle sue funzioni cardine, legata alla conservazione delle opere, il controllo e la manutenzione delle strutture dovrà avere come principale obiettivo quello della salvaguardia dei beni. E infatti più avanti, quando nell'*Ambito V* ci si occupa di *Sicurezza del museo* si dice che: “*Il museo deve tendere a:*

- *mitigare le azioni che l'ecosistema territoriale può provocare, attraverso interventi di analisi, monitoraggio e bonifica*
- *tutelare, conservare e consolidare il contenitore delle collezioni nei confronti delle suddette azioni*
- *tutelare e conservare le sue collezioni, anche in condizioni di emergenza.*”

Dunque analisi, monitoraggio e bonifica sono considerati essenziali per mitigare le azioni prodotte dall'ecosistema territoriale: tutto ciò implica una corretta e continua opera di manutenzione degli edifici che ospitano al loro interno istituti museali.

Perché quest'opera possa essere concretamente svolta bisognerà dotarsi di strumenti conoscitivi specifici quale, ad esempio, la Scheda Ambientale, protocollo di monitoraggio messo a punto da esperti scientifici dell'ISCR per il rilevamento sistematico di dati ambientali.

La compilazione della Scheda consente di raccogliere, in maniera strutturata, informazioni sull'edificio e sulle sue condizioni ambientali, indirizzando così le scelte sulle misure da adottare per il raggiungimento di quelle condizioni ritenute ottimali per la conservazione. Tale scheda è stata già sperimentata e validata in vari musei per verificarne l'utilità e l'efficacia come strumento di analisi e controllo³⁴.

³⁴ Giani E., Giovagnoli A., Nugari M.P., Gordini L., *The museum microclimatic, chemical and biological monitoring: the use of an environmental data sheet. The case of Museo Archeologico Nazionale di Napoli*, International Conference Art'05 – AIPnD , Lecce, 15-19 May, 2005.

Giani E., Giovagnoli A., Nugari M.P., Gordini L., *The use of an environmental data sheet: the case of Musei Civici of Pesaro (Italy)* International Conference Heritage Weathering and Climate, pp.463-468, Madrid, 21-24 June, 2006.

Sempre citando il testo dell'Atto di indirizzo si trova scritto che *“Data l'importanza dei fattori ambientali ai fini della conservazione dei manufatti, il museo deve procedere inoltre al periodico rilevamento delle condizioni termoigrometriche, luminose e di qualità dell'aria degli ambienti in cui si trovano i manufatti stessi, dotandosi di strumentazioni di misura fisse o mobili oppure affidando il servizio a terzi responsabili.”* E ancora, soprattutto in occasione di eventi particolari, quali le mostre organizzate all'interno di musei o anche aperture prolungate e altre manifestazioni con elevato afflusso di pubblico, l'Atto di indirizzo raccomanda *“...in considerazione delle prevedibili consistenti instabilità delle condizioni ambientali, il museo deve sempre prevedere il rilevamento con apparecchiature di registrazione continua dei parametri ambientali significativi per la conservazione dei manufatti esposti.”*³⁵

Tutte queste appaiono quasi ovvie considerazioni e raccomandazioni, ma la quotidiana attività di controllo e di coordinamento che si svolge nelle strutture centrali del MiBACT, quali le Direzioni Generali, dimostra che queste misure sono raramente adottate nei nostri istituti museali, tanto che spesso nei *condition report*, che devono essere compilati dai conservatori per la valutazione della possibilità di prestito temporaneo di un'opera per una mostra, manca proprio l'indicazione dei parametri microclimatici del museo di appartenenza nel quale l'opera è abitualmente esposta, parametri che devono essere resi noti agli organizzatori delle mostre perché possano essere riprodotti nelle sedi espositive ed essere mantenuti costanti nelle fasi di movimentazione ed imballaggio delle opere. La scheda ambientale risulta anche in questo caso uno strumento funzionale dal momento che, come detto, le condizioni ambientali degli ambienti in cui si svolge una mostra dovrebbero essere tarate sulle condizioni ambientali rilevate nel museo di provenienza dell'opera³⁶.

Spesso le misure da adottare per il miglioramento delle condizioni conservative degli ambienti dove sono esposte le opere, e di conseguenza anche per l'abbattimento della dispersione di energia, potrebbero ridursi a semplici ma importanti interventi, quali:

- la periodica manutenzione degli infissi delle finestre e delle porte per rendere più efficiente la loro tenuta;
- il montaggio di tende e di pellicole ai vetri per il filtraggio della luce solare;
- l'adozione di porte a bussola per la riduzione degli scambi d'aria esterno-interno, con beneficio sia del microclima, sia della qualità dell'aria del museo.

Il migliore isolamento degli ambienti ha come diretta conseguenza una riduzione dell'uso di impianti di trattamento d'aria per il controllo della temperatura, dell'umidità relativa, nonché una riduzione al ricorso a vetrine climatizzate, con costi molto elevati e spesso di difficile controllo e manutenzione.

Sono queste solo alcune delle molte precauzioni che dovrebbero e potrebbero essere facilmente attuate in modo sistematico per non dover ricorrere, poi, a drastici e spesso costosi interventi

³⁵ *Ambito VI – sottoambito 1 - norme per la conservazione e il restauro comprendenti l'esposizione e la movimentazione.*

³⁶ Giani E., A. Giovagnoli, Gordini L., Nugari M. P., *La Pala di Pesaro di Giovanni Bellini. I controlli ambientali*, Kermes Aprile - Giugno 2009 pp. 25-35.

Cacace C., Giani E., Giovagnoli A., Gordini L., Nugari M. P., *The WEB Environmental Data Sheet for museums and temporary exhibitions*, Multidisciplinary Conservation: a Holistic View for Historic Interiors Joint Interim-Meeting of five ICOM-CC Working Groups, Rome 23-23 March 2010.

straordinari, precauzioni legate alla manutenzione ordinaria degli edifici/contenitori, pur nel rispetto della loro storia e delle storiche strutture.

Altra situazione è quella rappresentata da diversi luoghi di conservazione ed esposizione al pubblico delle opere come nel caso degli edifici ecclesiastici. In questi luoghi le misure da adottare per garantire le migliori condizioni di conservazione delle opere devono tener conto delle esigenze connesse all'uso liturgico dei luoghi, all'afflusso del pubblico, all'utilizzo di sistemi di riscaldamento degli ambienti, raramente progettati tenendo in considerazione anche le esigenze conservative delle opere. Casi particolari sono quelli attualmente all'esame dei tecnici: uno fra tutti il ricorso a sistemi di riscaldamento puntuale per particolari ambienti e situazioni, costituiti da tappeti riscaldati elettricamente che possono essere facilmente rimossi e il cui funzionamento può essere programmato in diverse fasce orarie.

In questi casi l'attenzione degli organi di tutela (le Soprintendenze con competenze territoriali) deve essere particolarmente elevata proprio per poter concordare con i responsabili degli edifici di culto e con quelli degli Uffici diocesani per i beni culturali quali debbano essere gli interventi migliori per garantire la vivibilità e il giusto confort degli ambienti durante le funzioni religiose, ma anche la conservazione delle opere. Anche in questi casi la manutenzione ordinaria degli infissi, il controllo degli accessi, la verifica dei livelli di illuminazione sarà fondamentale ai fini di un contenimento di dispersione energetica.

Molti sono gli studi e gli interventi che già oggi sono stati condotti in questo ambito, resta tuttavia la necessità di una raccolta sistematica di dati e di informazioni che possa costituire la base per la messa a punto di Linee Guida specifiche per questa particolare problematica³⁷.

Infine una nota a riguardo degli apparati decorativi delle architetture siano essi costituiti da elementi lapidei o in stucco o da cicli decorativi affrescati. E' noto come in quest'ultimo caso solo una adeguata manutenzione delle murature, con presidi protettivi esterni, possa limitare l'insorgere di fenomeni di umidità di risalita o umidità che penetra nelle strutture dall'esterno a causa delle piogge battenti o di scoli di acqua da gronde o da condotte non più funzionanti. La continua ordinaria manutenzione può abbattere non solo le cause del danno ma limitare l'uso di impianti interni di deumidificazione o di condizionamento dell'aria con conseguente risparmi di energia³⁸

³⁷ D. Camuffo et al, *Church heating and preservation of the cultural heritage: a practical guide to the pros and cons of various heating systems*, Electa Mondadori, Milano, 2007.

³⁸ Un ringraziamento ad Elisabetta Giani, responsabile del settore Museotecnica-Laboratorio di Fisica e Controlli Ambientali dell'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro, per gli utili consigli e per la revisione del testo

2.4 ANALISI DEL SISTEMA IMPIANTISTICO ESISTENTE

2.4.1 Introduzione

La conoscenza dei sistemi impiantistici inseriti nell'edificio è un perno fondamentale per la conoscenza dello stato del sistema edificio-impianto e per la definizione degli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche.

A questo scopo vanno effettuati rilievi mirati a raccogliere tutti i dati utili per poter fare una corretta diagnosi energetica e il calcolo dei parametri di legge, così come previsto dalle norme italiane ed europee.

2.4.2 Le tipologie di impianto

Gli impianti presenti nell'edificio che utilizzano energia sono essenzialmente quelli di climatizzazione e quelli elettrici. I primi a loro volta sono classificabili in impianti di riscaldamento, ventilazione, termoventilazione, climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria. Qui di seguito sono sintetizzate le caratteristiche degli impianti più diffusi, quelli di riscaldamento e quelli di climatizzazione.

L'impianto di riscaldamento può essere costituito da uno o più generatori di calore: sfruttando la generazione di calore ottenuta da una combustione, in genere di gas metano o di gasolio, viene riscaldato un fluido termovettore, che, grazie a un circolatore, è inviato in ambiente tramite un sistema di distribuzione. L'impianto può utilizzare come fluido termovettore l'acqua, nel qual caso si parla di impianto ad acqua, il circolatore è una pompa e il sistema di distribuzione è costituito da tubi. Se il fluido termovettore è aria, si parla di impianto aeraulico, il circolatore è un ventilatore e il sistema di distribuzione è costituito da condotte. La centrale termica deve essere dotata, oltre ai sistemi di regolazione, controllo e sicurezza, di un adeguato sistema di aerazione al fine di consentire la corretta combustione e di un idoneo sistema di evacuazione dei prodotti della combustione. L'impianto è soggetto a ispezione periodica ai sensi del DPR 16/13.

L'impianto di condizionamento generalmente utilizza come fluido termovettore aria che viene trattata in una unità di scambio termico (Unità di Trattamento dell'Aria, UTA) e poi distribuita agli ambienti mediante condotte aerauliche. Il sistema può funzionare in regime invernale ed estivo; in questo secondo caso è asservito a una o più unità frigorifere.

2.4.3 Il rilievo dell'impianto

La redazione della diagnosi energetica e l'effettuazione del calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici richiede la conoscenza di una serie di informazioni relative all'impianto e alle sue caratteristiche. Per raccogliere e organizzare i dati può essere molto utile per il professionista disporre di schede e protocolli che lo guidino nel suo compito. Queste schede devono contenere almeno la tipologia e i dati relativi alle caratteristiche tecniche dell'impianto e dei suoi componenti, ma possono ovviamente prevedere l'inserimento di qualunque tipo di informazione, dalla pianta degli ambienti alla disposizione dei terminali. Un esempio di schede tecniche per il rilievo dei sistemi impiantistici esistenti si trova in LL.GG. AiCARR sull'Efficienza Energetica negli Edifici Storici (2014).

2.4.4 L'impiantistica storica

Dal punto di vista impiantistico, gli edifici storici che non sono stati interessati da recenti interventi di manutenzione, sia essa ordinaria che straordinaria o preventiva, sono generalmente dotati di

impianti obsoleti che potrebbero in linea di principio essere sostituiti ma che in realtà possono essere testimonianze del passato e come tali avere un interesse storico, per cui vanno accuratamente recuperati, valorizzati e se possibile resi fruibili.

E' chiaro che la valutazione della possibilità di riutilizzo di impianti che presentano valenza storica comporta problemi di tutela e spesso anche di valorizzazione, è un processo interdisciplinare, che il progettista dovrà gestire dal punto di vista termotecnico e che richiede anche competenze tipiche degli esperti in Beni Culturali. L'analisi degli impianti storici al fine di valutarne le possibilità di tutela, valorizzazione e fruizione è quindi un processo integrato nel quale il progettista svolge un ruolo di particolare importanza.

2.5 ELEMENTI CONOSCITIVI SUL PATRIMONIO EDILIZIO MODERNO E CONTEMPORANEO

2.5.1 Analisi dei caratteri tecnico-costruttivi e strutturali dell'edilizia moderna e contemporanea

La ricerca sulle caratteristiche tecnico-costruttive e impiantistiche di edifici del periodo moderno e contemporaneo e sulle loro esigenze di efficientamento energetico, così come avviene per le diverse tipologie dell'edilizia storica, non può prescindere dallo studio del complesso architettonico o del nucleo urbano e dei suoi collegamenti con il contesto territoriale.

L'inquadramento nell'arco temporale di progettazione e costruzione, oltre ai dati sull'ambito territoriale di riferimento, aiutano a inserire l'architettura nella corrente di ricerca del periodo storico considerato, inquadrandolo nel sistema urbanistico e paesaggistico nel quale si colloca. Può rivelarsi utile a tal fine una preliminare verifica dell'inserimento dell'unità o del nucleo edilizio urbano nel *Censimento delle architetture italiane del secondo Novecento*³⁹, promosso e curato dal MiBACT in collaborazione con le Regioni e con gli istituti universitari e di ricerca.

Il *Censimento*, infatti, inquadra le architetture a partire dal 1945 in una schedatura articolata per caratteristiche storiche, costruttive e funzionali, fornendo elementi utili a una lettura avanzata sullo stato dell'edificio e fino a fornire in più casi elementi sulle sue caratteristiche impiantistiche. Ma è lo stesso inquadramento nel periodo e nell'ambito territoriale di riferimento che aiuta a valutare caratteristiche originarie ed esigenze di adeguamento.

La necessaria attenzione va rivolta da un lato alla conservazione di elementi tecnologici che hanno segnato l'evoluzione delle modalità di riscaldamento o ventilazione: dalle caldaie e bruciatori in origine a carbone poi a olio combustibile e gasolio, agli elementi radianti in ghisa e alle tubature di ferro. Mentre può dirsi un'eccezione perché, di fatto, non proponibile e praticabile il recupero degli impianti originari di generazione del calore, sostituiti per legge da apparecchiature meno inquinanti, si è oggi orientati a non sostituire o modificare gli elementi radianti e di conduzione spesso studiati accuratamente nella progettazione autoriale per adattarsi alle caratteristiche tipologiche e funzionali degli edifici e che oggi ne integrano e sottolineano la particolarità.

³⁹Il *Censimento delle architetture italiane del secondo Novecento* interessa oramai tutte le venti regioni italiane. Il lavoro avviato nel 2002 dal Ministero per i beni e le attività culturali attraverso l'ex DARC (Direzione generale per l'Architettura e l'Arte Contemporanea) è stato dal 2010 oggetto di ampia rivisitazione e aggiornamento da parte del Servizio Architettura e Arte Contemporanea della ex Direzione generale PaBAAC. Gli aggiornamenti sono disponibili sul sito www.pbaac.beniculturali.it.

Dall'altro lato, appare imprescindibile una valutazione attenta della qualità del progetto collegata alla sua datazione che nasca dalla ricerca di quelle soluzioni che l'autore ha valutato funzionali sotto il profilo energetico, viste in rapporto al periodo storico di riferimento e all'avanzamento della ricerca tecnologica del periodo.

In definitiva, per gli aspetti della tutela del patrimonio esistente, appare doveroso raccomandare una nuova e più accurata attenzione al riconoscimento e alla conseguente conservazione di quelle soluzioni che oggi entrano a far parte della storia dell'impiantistica del Novecento, che sono presupposto e parte integrante della storia dei caratteri dell'architettura contemporanea.

Questo discorso è immediatamente trasferibile alla nuova progettazione delle architetture e dei complessi urbani che costituiranno il patrimonio architettonico storico dei prossimi anni.

Nel 2013⁴⁰ il Consiglio Nazionale degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori aveva sottolineato come fosse necessario un "Programma nazionale per le città all'insegna della Rigenerazione Urbana Sostenibile" che faccia leva sull'efficientamento energetico verso una strategia per la sostenibilità ambientale; aveva, infatti, evidenziato come il patrimonio edilizio italiano "sia in una fase avanzata di ammaloramento e di de-valorizzazione" in quanto il 70% degli edifici italiani, privati e pubblici, costruito tra il 1945 e gli anni '80 di vita "sono veri e propri "colabrodi" energetici e idrici".

E d'altra parte si è rilevato come la Direttiva 27/2012⁴¹ imponga agli Stati Membri di consegnare una strategia a lungo termine per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico sul patrimonio edilizio, unitamente al Piano triennale e al censimento della situazione reale, per adeguare le nostre città alla contemporaneità, anche utilizzando il *know how* e l'esperienza delle istituzioni e dei professionisti che già operano da anni sul campo.

L'aspetto cruciale che pone oggi la questione degli impianti nella tutela dell'architettura contemporanea è dunque decisivo per mutare radicalmente l'approccio nella valutazione del linguaggio architettonico e nella sua relazione con il contesto.

L'avanzamento inarrestabile e pervasivo di apparati tecnologici, sempre più efficienti e complessi, a fronte spesso di una destrutturazione del linguaggio architettonico, ha in qualche modo rovesciato pesi e misure di valutazione. Ai parametri generali o alle soluzioni normabili, va affiancata una riflessione da avviare urgentemente che sostenga un approccio sistemico che deve necessariamente avvalersi di un'ampia collaborazione tra istituzioni e organismi professionali⁴². L'approccio, ampiamente teorizzato da più di cinquanta anni, oggi dispone di tutte le opzioni tecnologiche per essere attuato in modo estensivo e penetrante in ogni settore della gestione/trasformazione antropica delle città, del territorio, dell'architettura e del paesaggio.

Il ruolo stesso del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, attraverso le proprie strutture periferiche, è investito in modo sempre più radicale e profondo dalla questione degli impianti, proprio nella valutazione degli adeguamenti, di quei miglioramenti indispensabili, ma che

⁴⁰ SAIE Bologna, ottobre 2013 – Intervento di Leopoldo Freryie, Presidente del Consiglio Nazionale degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori .

⁴¹DIRETTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica

⁴² Si veda al riguardo: Di Battista V., Giallocosta G., Minati G., *Architettura e approccio sistemico* - ed. Polimaterica 2006

siano anche compatibili con la tutela e la valorizzazione del bene comune nei processi di efficientamento energetico.

Occorre dunque spostare a monte del processo progettuale le analisi e i conseguenti diversi ruoli di valutazione, per fare dell'approccio multidisciplinare la garanzia di una soluzione corretta nelle pratiche di adeguamento e miglioramento energetico dei complessi edilizi esistenti anche di più recente realizzazione.

Lo studio accurato della situazione preesistente e della casistica più recente può fornire quegli elementi utili ad una valutazione consapevole dell'intervento sul patrimonio edilizio del Novecento per salvaguardare quelle soluzioni, anche autoriali, riscontrabili nell'edilizia moderna e contemporanea e, allo stesso tempo, trasformare l'approccio nella valutazione di sistemi tecnologicamente più avanzati che nascano come espressione di una progettazione integrata e dunque già studiata per fornire risposte di qualità sotto il profilo estetico e funzionale.

3 VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA PER IL PATRIMONIO CULTURALE

3.1 La diagnosi energetica degli edifici storici

3.1.1 Introduzione

La diagnosi energetica è uno dei processi fondamentali della riqualificazione energetica degli edifici, per cui definirne in modo chiaro e univoco scopo e modalità di esecuzione è essenziale. A conferma di ciò il CEN ha recentemente pubblicato la norma UNI CEI EN 16247-1 che è la prima di una serie dedicata all'argomento e che definisce la diagnosi energetica come "verifica sistematica ed analisi degli usi e dei consumi di energia di un sito, edificio, sistema o organizzazione con l'obiettivo di identificare e documentare i flussi di energia e il potenziale per miglioramenti di efficienza energetica". Con riferimento all'edificio, la diagnosi energetica è una procedura sistematica che si propone di:

- definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili recuperi delle energie disperse;
- valutare le condizioni di benessere termoisometrico e di sicurezza necessarie e individuare appropriate soluzioni di risparmio energetico;
- valutare le opportunità di risparmio energetico dal punto di vista tecnico-economico e ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio-impianto, quali i contratti di fornitura di energia e le modalità di conduzione del sistema, ai fini di una riduzione dei costi di gestione.

Per quanto riguarda specificatamente gli edifici storici, il miglioramento della prestazione energetica richiede talvolta modifiche dell'organismo architettonico che, se non accuratamente progettate sulla base di una corretta diagnosi energetica, possono comportare problemi che vanno dal pregiudicare il valore monumentale e/o documentale del manufatto al mettere in discussione la sicurezza statica dell'edificio. Ne deriva che il progettista termotecnico che si trovi a dover intervenire su un edificio storico, soprattutto se vincolato secondo il DLgs 42/2004, è spesso tenuto ad acquisire la documentazione necessaria alla conoscenza del fabbricato non solo per gli aspetti tecnici di sua competenza, ma anche per quelli relativi al ruolo che quell'edificio svolge nella storia dell'uomo e all'interno del contesto urbano e paesaggistico in cui è inserito. Qui di seguito vengono riportati i fondamenti teorici della diagnosi energetica; per una analisi più approfondita si faccia riferimento alla documentazione AiCARR sull'argomento

3.1.2 Lo scopo della diagnosi energetica

Come detto, lo scopo principale della diagnosi energetica è la valutazione dei consumi energetici dell'edificio al fine di ridurli, nel rispetto delle condizioni di qualità dell'ambiente interno che sono descritte in precedenza. Per far ciò è necessario identificare innanzitutto le funzioni che i sistemi architettonici e tecnologici devono soddisfare, che possono andare dalla semplice climatizzazione se l'edificio è destinato a usi residenziali o terziari, al controllo del microclima se nell'edificio sono ospitate collezioni, al controllo dell'umidità da risalita in presenza di falde acquifere o acque disperse nel sottosuolo. Poi devono essere identificati i vettori energetici utilizzati da ogni servizio e i flussi di energia associati a ciascun vettore. A questo punto è possibile valutare l'efficienza energetica di ogni servizio e identificare le opportunità di risparmio energetico ed economico che possono essere proposte per l'edificio in esame.

3.1.3 I livelli di diagnosi energetica

Esistono tre diverse tipologie base, anche detti livelli di diagnosi energetica, che, in ordine di complessità, sono le seguenti:

I Livello - Diagnosi per ispezione visiva o diagnosi leggera: consiste essenzialmente nell'ispezionare visivamente ciascuno dei sistemi e/o sottosistemi presenti nell'edificio che scambiano energia. Generalmente prevede anche una valutazione dei dati di consumo energetico, allo scopo di analizzare le quantità e i profili di uso di energia e fornire un elemento di confronto con valori medi di riferimento. È la diagnosi meno costosa, che comunque può fornire un elenco di opportunità di risparmio a basso costo, da realizzare principalmente con il miglioramento delle procedure di gestione e manutenzione, e una stima preliminare del potenziale di risparmio. E' utile anche come screening per determinare se sia o meno il caso di passare a livelli successivi, più accurati e quindi più costosi.

II Livello - Diagnosi standard: consiste nella quantificazione degli usi e delle perdite di energia, da effettuare revisionando e analizzando gli apparati e i sistemi e le loro caratteristiche operazionali, e nell'analisi economica delle misure di risparmio energetico raccomandate. Può prevedere misure sul posto e verifiche prestazionali per quantificare l'impiego di energia e l'efficienza energetica dei vari sistemi. Gli strumenti di calcolo utilizzati per questo livello di diagnosi sono quelli standard, quali le procedure di calcolo riportate nelle UNI TS 11300.

III Livello - Diagnosi dettagliata: consiste in un'analisi dettagliata degli usi e degli impieghi di energia, specializzata per funzione e/o destinazione d'uso, e in una valutazione dei profili d'uso dell'energia con l'utilizzo di programmi di calcolo di simulazione dinamica del sistema energetico considerato. E' evidentemente il livello più costoso in termini temporali ed economici, che può essere giustificato da un'elevata complessità dell'edificio o del sistema in esame, non altrimenti trattabile in modo corretto con i livelli precedenti.

In *Tabella 1* è riportato un confronto tra i tre livelli di diagnosi. Una volta stabilito la tipologia di diagnosi che si vuole eseguire, bisogna iniziare a raccogliere le informazioni sui componenti strutturali e meccanici che condizionano gli impieghi di energia nell'edificio e sulle modalità di funzionamento e gestione del sistema edificio-impianto. Molte di queste informazioni possono e dovrebbero essere raccolte prima della visita all'edificio: infatti, una valutazione approfondita degli impieghi dell'energia e dei sistemi utilizzatori prima dell'ispezione sul posto aiuta sicuramente a identificare le aree di potenziale risparmio energetico, ottimizzando il sopralluogo.

3.1.4 Il processo di diagnosi energetica

Una volta stabilito il livello di diagnosi che si vuole eseguire, si passa alla fase operativa, che comprende una serie di attività comuni a tutti i livelli, anche se con diversi gradi di approfondimento, e che sono sintetizzabili come segue:

attività di pre-ispezione, i cui passi fondamentali sono:

- raccolta e analisi delle informazioni sui consumi pregressi;
- raccolta dei disegni e delle specifiche tecniche relativi al progetto esecutivo e a quello "as built" dell'architettonico, degli impianti meccanici e degli impianti elettrici;
- individuazione e posizionamento sulle piante dell'edificio dell'indicazione delle apparecchiature, dei sistemi e degli impianti interessati ai consumi energetici;
- descrizione delle apparecchiature, dei sistemi e degli impianti interessati ai consumi energetici di cui al punto precedente;
- calcolo degli indicatori energetici da confrontare con quelli di edifici simili;

- elaborazione di una lista di opportunità di risparmio energetico e di procedure di manutenzione e gestione da mettere in atto;
attività di ispezione, durante la quale tra l'altro viene verificato in maniera puntuale tutto quanto individuato o ipotizzato nella pre-ispezione e vengono rilevati tutti i dati non resi disponibili durante quella fase; in particolare, vengono verificate le opportunità di risparmio energetico e le procedure di manutenzione e gestione;
attività di post-ispezione che prevede tra l'altro la definizione delle opportunità di risparmio energetico e delle procedure di manutenzione e gestione.

3.1.5 La diagnosi energetica degli edifici storici

Come accennato nell'introduzione, la diagnosi energetica di un edificio storico non è un processo semplice. Il primo ostacolo è dato dalla mancanza di adeguate piante e sezioni, cui si aggiunge la non conoscenza dei materiali e delle stratigrafie delle pareti interne ed esterne.

Questi problemi sono comuni a molti edifici esistenti, per i quali non è facile rintracciare piante e sezioni significative dal punto di vista termotecnico e nei quali non sempre è possibile operare carotaggi per l'individuazione corretta delle caratteristiche termofisiche delle strutture murarie. Nel caso degli edifici storici il compito è ancora più arduo, perché, a meno che non si effettuino ricerche di archivio, non si riesce a risalire alla fabbrica originale e alle eventuali modifiche da questa subite nel corso degli anni o dei secoli.

Dal punto di vista dei materiali, è talvolta possibile risalire alla stratigrafia delle pareti in modo non distruttivo o intrusivo, per esempio utilizzando tecniche endoscopiche applicate a passaggi o interstizi pre-esistenti nelle murature. Queste tecniche potrebbero però risultare costose e comunque non sempre danno conto di interventi subiti nel tempo dalle murature, che spesso sono nascosti sotto intonaci più o meno di valore e che non sempre sono individuabili con tecniche quali la termografia all'infrarosso.

Tab.7 –Confronto tra i tre livelli di diagnosi. ORE: Opportunità di Risparmio Energetico.

TIPOLOGIA	CARATTERISTICHE	RISULTATI	TEMPI
I livello: Leggera	Visita all'edificio oggetto di diagnosi allo scopo di ispezionare visivamente ciascuno dei sistemi e/o dei sottosistemi energetici.	Stima del potenziale di risparmio energetico ed economico sulla base dell'indicazione delle ORE a basso costo di investimento. Lista qualitativa degli scenari di intervento. Indicazioni per una successiva analisi di II o III livello	Pochi giorni
II livello: Standard	Analisi energetica dei sistemi impiantistici con modelli di calcolo in regime stazionario. Piccole misurazioni.	Indicazione delle ORE e degli scenari di intervento da applicare all'edificio tramite analisi energetica, economica e multicriterio.	Poche settimane
III livello: Dettagliata	Analisi energetica dei sistemi impiantistici con modelli di calcolo in regime dinamico. Misurazioni dettagliate sui componenti.	Valutazione del consumo di energia primaria suddiviso per funzione d'uso, vettore energetico e profili d'uso. Indicazione accurata delle ORE e degli scenari di intervento, da applicare all'edificio tramite analisi energetica, economica e multicriterio. Definizione delle interazioni tra i diversi scenari.	Settimane o mesi

3.2 Procedura per migliorare l'efficienza energetica degli edifici storici

3.2.1 Una proposta di procedura

Per miglioramento energetico si intende l'esecuzione di uno o più interventi aventi lo scopo di ridurre l'indice di prestazione energetica senza modificare lo stato strutturale e architettonico del manufatto e cercando di migliorare le condizioni di qualità ambientale.

In *Figura 3* è riportato lo schema di flusso della proposta che AiCARR ha formulato per la procedura di miglioramento dell'efficienza energetica (LL.GG. AiCARR sull'Efficienza Energetica negli Edifici Storici, 2014).

La procedura prevede alcune azioni preliminari, mirate a una corretta diagnosi energetica, a valle della quale deve essere calcolato l'indice di prestazione energetica E_p allo stato di fatto. La diagnosi deve essere anche utilizzata per valutare le possibili azioni di miglioramento, sulla base delle quali va calcolato l'indice di prestazione energetica E_p' *post operam*. Evidentemente, se il miglioramento ha portato a risultati concreti si può procedere, altrimenti il processo va ripetuto approfondendo i livelli di diagnosi.

Questa valutazione di confronto valutazione può essere effettuata utilizzando le schede tecniche per il calcolo dell'energia primaria risparmiata secondo l'Autorità dell'Energia Elettrica, del Gas e del Sistema Idrico (AEEGSI).

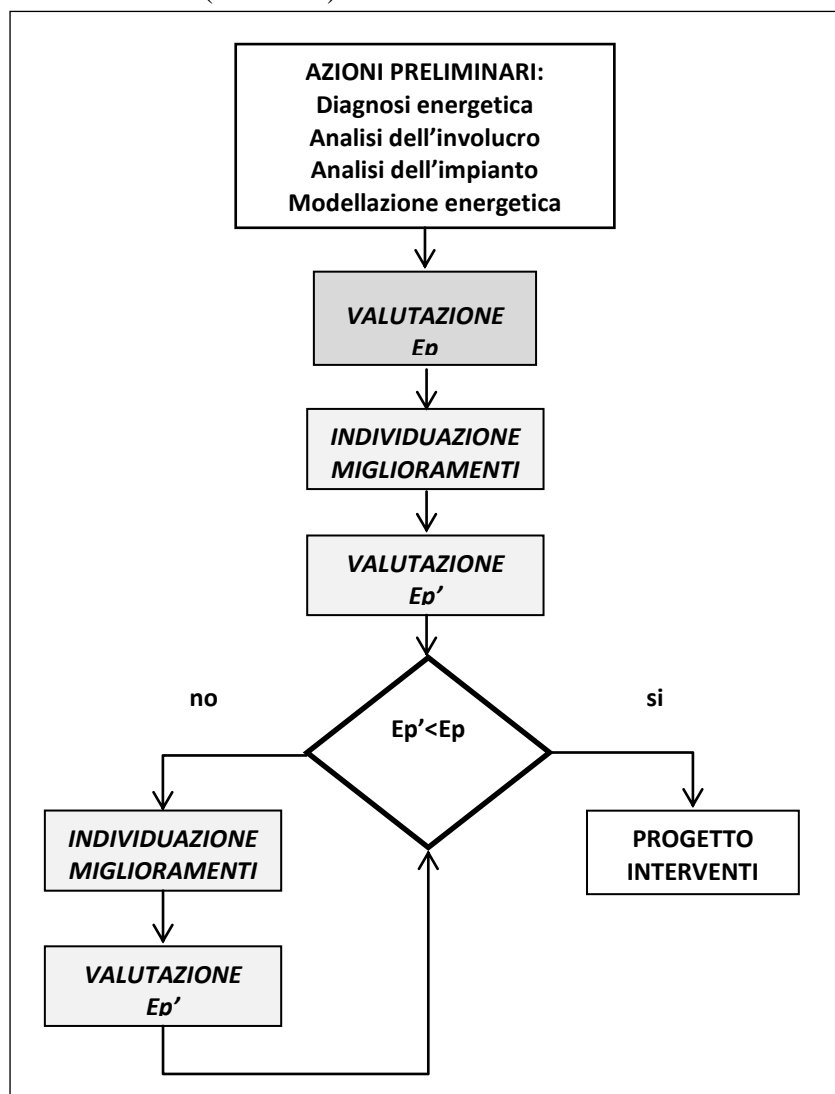


Fig. 3 – Schema di flusso della procedura per il miglioramento dell'efficienza energetica.

3.3 La valutazione della prestazione energetica complessiva di un edificio storico

3.3.1 Introduzione

La prestazione energetica di un edificio è la quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi con un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale ed estiva, la produzione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione.

3.3.2 La valutazione della prestazione energetica

La valutazione della prestazione energetica deve tener conto di una serie di parametri, tra cui:

- gli aspetti climatici della località;
- il livello di isolamento termico dell'involucro;
- l'esistenza di sistemi di generazione propria di energia;
- le caratteristiche tecniche e di installazione dell'impianto;
- il microclima degli ambienti interni.

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl}, che rappresenta il consumo di energia primaria riferito all'unità di superficie utile o al volume lordo ai fini del riscaldamento, del raffrescamento, della produzione di acqua calda a fini igienico-sanitari, per l'illuminazione e per l'eventuale ventilazione:

$$EP_{gl} = EP_{ci} + EP_{acs} + EP_{ce} + EP_{ill}$$

dove:

- EP_{ci} = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
EP_{acs} = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria;
EP_{ce} = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
EP_{ill} = indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Gli indici di prestazione sono espressi in kWh/m²anno o kWh/m³anno, secondo le indicazioni previste dalle norme europee e nazionali vigenti.

Il valore ottenuto dal calcolo è un indicatore prestazionale che può essere confrontato con i valori derivanti dai calcoli effettuati su altri edifici solo se le ipotesi adottate sono congruenti. A questo proposito, è opportuno precisare che la valutazione del fabbisogno energetico di un edificio, essendo appunto effettuata mediante un metodo di calcolo, non può che risentire delle diverse ipotesi che il progettista ritiene utile o necessario adottare. Il valore ottenuto può essere variato grazie all'adozione di soluzioni diverse, quali le migliori nel sistema di produzione energetica o nelle prestazioni di elementi di involucro, che consentono di valutare la praticabilità energetica di una determinata operazione.

Come già detto, leggi e norme impongono il sistema edificio-impianto come un unico blocco: è tuttavia opportuno che, nella fase di valutazione delle prestazioni energetiche, vengano distinti i contributi energetici richiesti per il fabbisogno energetico dovuto al raffrescamento da quelli dovuti al riscaldamento, dall'energia richiesta dal sistema impianto e dall'energia primaria richiesta dall'intero sistema edificio - impianto. Tale determinazione consente di effettuare la diagnosi energetica in modo più comprensibile.

Per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio si fa riferimento ai metodi riportati nelle Specifiche Tecniche UNI della serie 11300, tutte espressamente richiamate dalla legislazione italiana e quindi vincolanti.

3.3.3. Alcune problematiche

Sulla base di quanto detto, la valutazione della prestazione energetica di un edificio storico va fatta almeno due volte, la prima per definire lo stato di fatto dell'edificio, la seconda per valutare i risultati ottenuti a valle dei miglioramenti. Evidentemente, questa valutazione può risultare affetta da imprecisioni e/o errori legati alle difficoltà di reperimento dei dati relativi alle caratteristiche termofisiche del sistema edificio-impianto.

Tab. 8 – Schema per la valutazione degli effetti degli interventi di riqualificazione energetica.

Indice di prestazione [kWh/(m ³ ·anno)]	Ante-operam	Post-operam	Riduzione percentuale [%]
EPci			
EPacs			
EPce			
EPill			
EPgl (complessivo)			

3.3.4 La valutazione degli effetti degli interventi di riqualificazione energetica

Come detto, si deve provvedere alla valutazione della prestazione energetica *ante e post-operam*. I risultati ottenuti vanno sintetizzati nello schema della Tabella precedente. La matrice, compilata a cura del progettista dell'intervento sulla base della documentazione prodotta, viene valutata dalla Soprintendenza.

Come è ovvio, il miglioramento della prestazione energetica di un edificio prevede interventi caratterizzati da un significativo risparmio percentuale di energia primaria complessiva da valutare caso per caso.

3.4 Esempio applicativo – proposte di intervento per la Galleria Borghese, Roma

3.4.1 Utilizzo pompe di calore nella stagione invernale – Applicazione Linee Guida AiCARR

Il decreto legislativo 28/2011 inserisce tra le fonti energetiche rinnovabili la risorsa aerotermica, idrotermica e geotermica. Lo stesso decreto per le nuove costruzioni e per gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti impone che il 35% del fabbisogno energetico sia soddisfatto tramite energie rinnovabili.

La Galleria Borghese, in virtù dell'importanza storica ed architettonica, può derogare alle prescrizioni del decreto. Tuttavia, l'utilizzo di pompe di calore per la climatizzazione invernale consentirebbe di rispondere in parte alle prescrizioni del Decreto, senza alterare i caratteri storici ed architettonici dell'edificio.

Questo intervento è pienamente in linea con le Linee Guida AiCARR su "Efficienza energetica negli edifici storici".

Nell'elencare gli interventi possibili per la riduzione del carico frigorifero si è già detto della possibilità di utilizzare la risorsa rinnovabile aerotermica, attraverso un impianto a pompa di calore del tipo ad espansione diretta al servizio del piano secondo.

Più significativa, in termini energetici e soprattutto in termini di sostenibilità energetica e ambientale sarebbe l'installazione di pompe di calore condensate ad aria per la produzione di energia termica al servizio dell'intero edificio, in parallelo alla centrale termica attualmente presente.

Le pompe di calore potrebbero essere collocate all'esterno, in prossimità dell'edificio, in sostituzione degli attuali gruppi frigoriferi.

In termini gestionali, con una configurazione impiantistica di questo tipo le pompe di calore funzionano in via prioritaria rispetto alla caldaie, fornendo l'energia termica necessaria alle diverse utenze dell'edificio, in corrispondenza di temperature dell'aria esterna tali da renderle più efficienti. Nel caso particolare, date le condizioni climatiche della città di Roma, si ritiene che il funzionamento prioritario delle pompe di calore potrebbe coincidere con la durata della stagione invernale, lasciando alla caldaia un ruolo di sola riserva.

3.4.2 Classificazione dell'edificio

Coerentemente con il dettaglio di calcolo del progetto preliminare è stata effettuata una classificazione energetica dell'edificio *ante operam*, al fine di valutare gli effetti degli interventi proposti.

Allo stato attuale l'edificio risulta essere in classe B con un indice di prestazione energetica invernale pari a 6,3 kWh/m³anno ed un indice di prestazione del solo involucro nella stagione estiva pari a 12,5 kWh/m³anno.

La realizzazione di alcuni interventi di riqualificazione energetica può portare ad un deciso miglioramento della prestazione energetica dell'edificio, con raggiungimento della classe A+.

La tabella seguente riporta un riepilogo dei risultati raggiungibili, per incrementi successivi, a partire dalla situazione iniziale.

Si fa notare la buona classe iniziale, derivante dalle caratteristiche fisico-tecniche dell'involucro dell'edificio, dalla sua grande dimensione e dalla sua forma compatta, dall'elevata incidenza degli apporti interni (soprattutto le persone) nel bilancio complessivo.

E' evidente il grande miglioramento che si può ottenere, soprattutto con riferimento alla situazione invernale.

L'installazione di pellicole sui vetri e il rifacimento dell'impianto di illuminazione comportano un lieve peggioramento della prestazione invernale ed un miglioramento della prestazione estiva. I due interventi sono stati raggruppati dal momento che l'attuale sistema di norme per la prestazione energetica degli edifici non consente di valutare gli effetti positivi derivanti alla sostituzione dell'impianto di illuminazione, dal momento che è previsto un valore standard invariabile. Presumibilmente la riduzione dovrebbe essere proporzionale a quella vista sopra per il carico termico estivo (-8%) e portare la prestazione energetica estiva da 11,2 a 10.3 kWh/m³anno (valori riportati tra parentesi nella tabella che segue).

	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP _{Cl} [kWh/m ³ *anno]	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva involucro EP _{E,invol} [kWh/m ³ *anno]	Classe energetica (con riferimento alla prestazione invernale)
Limite di legge	6.3	10.0	Classe C
Situazione attuale	5.0	12.5	Classe B
Installazione di pellicole sui vetri e rifacimento impianto di illuminazione	5.2	11.2 (10.3)	Classe B
Sistema di regolazione impianti	2.7	11.2 (10.3)	Classe A
Impianto a pompa di calore del tipo a espansione diretta piano secondo	2.2	11.2 (10.3)	Classe A
Pompe di calore nella stagione invernale	1.5	11.2 (10.3)	Classe A+

L'intervento più efficace è quello sulla regolazione degli impianti, consentendo una riduzione di circa il 48% del fabbisogno invernale.

L'installazione di pompe di calore può consentire di portare l'edificio in classe A+, con una copertura del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale con fonti rinnovabili pari a circa il 37%.

Non è possibile ad oggi un calcolo della quota rinnovabile nella stagione estiva, dal momento che la normativa non è precisa sulla valutazione di sistemi energetici con rendimento superiore all'unità. A parere di chi scrive, anche in questo caso dovrebbe essere considerata rinnovabile la quota di energia aerotermica ceduta all'aria, ragionando in maniera analoga a quanto fatto in inverno. Se così fosse la quota rinnovabile nella stagione estiva si potrebbe attestare intorno al 50% avendo assunto un COP medio delle macchine pari a 4,5.

Complessivamente si arriverebbe al 35%, raggiungendo il limite previsto dal d.lgs. 28/2011 sul fabbisogno complessivo dell'edificio.

La *Figura 4* che segue sintetizza quanto sopra affermato, avendo convertito i fabbisogni di energia utile della stagione estiva in fabbisogni di energia primaria considerando, come detto, un COP di 4,5 ed un rendimento del sistema elettrico nazionale del 46%.

Gli spicchi in colore pieno sono i fabbisogni di energia primaria (rosso per l'inverno e azzurro per l'estate); gli spicchi in colore rosso-verde o azzurro-verde sono le quote di energia rinnovabile; gli spicchi in colore sfumato rappresentano i risparmi che si possono ottenere grazie agli interventi proposti.

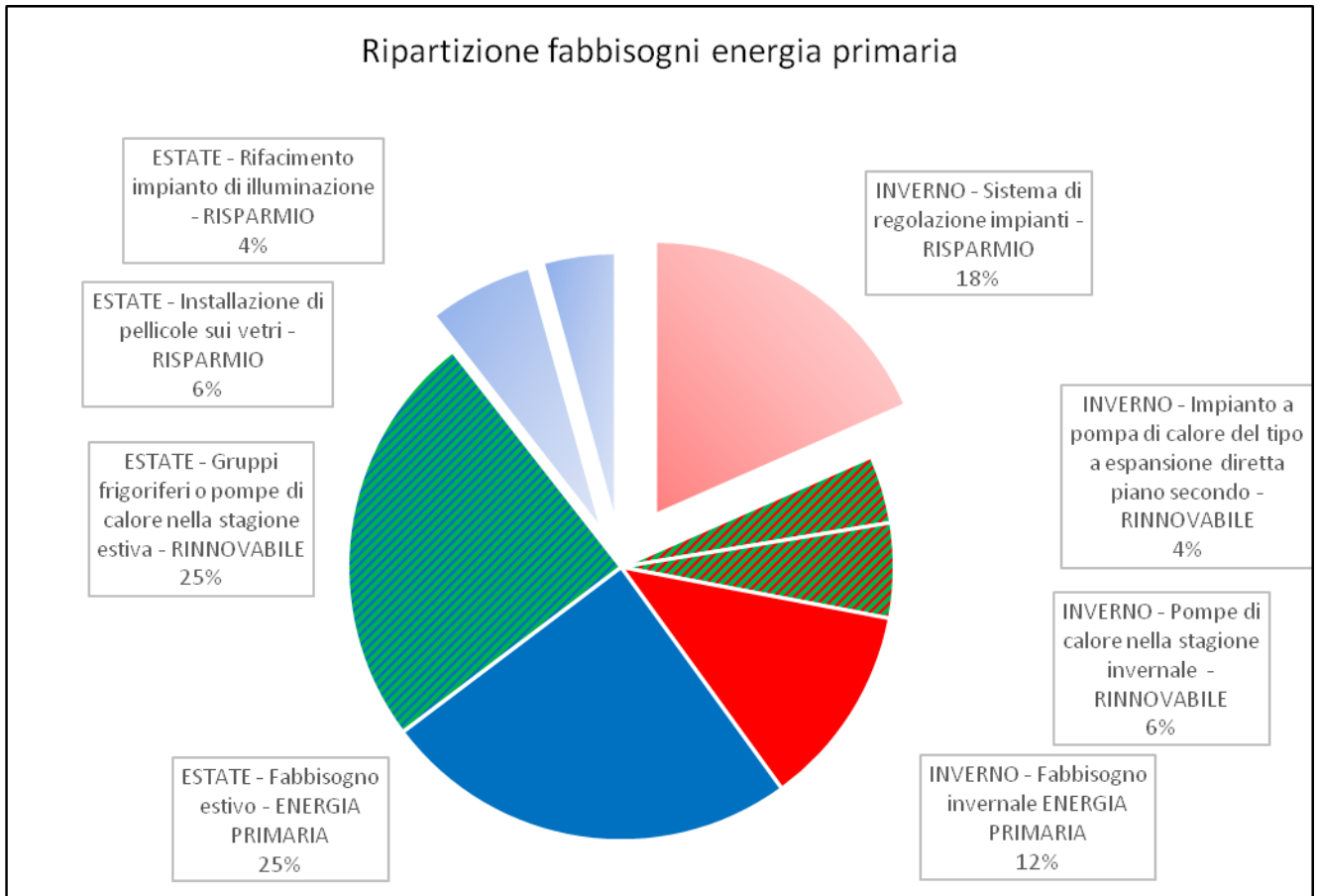


Fig. 4 – Ripartizione fabbisogno energia primaria

4. MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA PER IL PATRIMONIO CULTURALE

4.1. Interventi sugli edifici e criteri di restauro

4.1.1. Premessa metodologica

Richiami di metodo

Il moderno restauro, in seguito ad un lungo lavoro di affinamento concettuale, ha definito scientificamente il proprio statuto ed ha raggiunto un elevato livello di rigore storico-critico, rifiutando sia gli eccessi d'una disinvolta 'riprogettazione' sia la prassi del mero 'adeguamento' funzionale e prestazionale del manufatto edilizio. Tale riflessione ha chiarito che il restauro non è cieco alle ragioni d'una 'lecita modificazione' del bene (ad esempio, in termini di reintegrazione delle lacune, di rimozione delle aggiunte improprie o anche di miglioramento delle proprie prestazioni) né alla dialettica conservazione-sviluppo. Esso accoglie ed integra in sé il principio dell'attribuzione di una funzione appropriata e vitale, garanzia fondamentale di buon mantenimento e di trasmissione del manufatto nel tempo.

In questo campo, quindi, il progetto si propone come autentico atto di restauro e di valorizzazione, evitando ogni confusione con altri modi di confrontarsi con le 'preesistenze', genericamente intese. Tale riflessione ha chiarito che il restauro si rivolge a beni di riconosciuto valore culturale, storico o artistico (secondo il moderno concetto di cultura, allargato anche in senso 'materiale' e antropologico) ed al loro tessuto connettivo, urbanistico, territoriale, paesistico; che esso ha assunto una prevalente declinazione 'critico-conservativa', vale a dire sensibile al dovere primario della tutela, perpetuazione e migliore conservazione del bene senza per questo rifiutare i positivi apporti della modernità. Essa respinge decisamente un'idea di restauro come mummificazione mentre accoglie ed integra in sé l'attribuzione di funzioni compatibili e ben calibrate, secondo il noto concetto di 'conservazione integrata' (*Dichiarazione di Amsterdam, 1975*).

Se tuttavia il restauro, in termini concettuali ma anche in molte sue applicazioni, è pervenuto ad un'ormai consolidata maturità e coerenza di metodo, l'importante settore dell'innervamento impiantistico risulta, pur con alcune lodevoli eccezioni, ancora in fase di sviluppo e definizione.

Va precisato, viceversa, che il maggiore progresso rilevabile nel campo del consolidamento strutturale discende, nei suoi lusinghieri esiti applicativi, da studi di ricerca pura, a fondamento storico-tecnico, sulla meccanica delle antiche murature in pietra o mattoni, dopo un periodo di disinteresse durato quasi due secoli. Da essi s'è sviluppato un metodo, oggi abbastanza diffuso, di preliminare comprensione e lettura costruttiva diretta del monumento. Vale a dire un atteggiamento sicuramente radicato nella scienza e nella tecnica delle costruzioni ma declinato in termini di sensibilità storica e di attenzione alla 'specificità' delle antiche costruzioni e dei problemi che esse pongono. Atteggiamento, nei casi migliori, scevro da ogni dogmatismo o venatura ideologica; aperto a tutto campo, sempre pronto a rimettersi in discussione senza predilezioni preconcepite (ad esempio nei confronti delle tecniche moderne o tradizionali) che non siano quelle della ricerca della soluzione, nella fattispecie, più 'appropriata'. Un approccio, quindi, sperimentale, ricco d'inventiva, d'intelligente reattività agli stimoli provenienti dal dialogo interdisciplinare. Il tutto si basa su capacità diagnostiche accuratissime e sulla definizione d'una cura 'commisurata' e ricercata tramite procedimenti logico-intuitivi, alle volte corroborati da strumentazioni matematiche, tuttavia mai esclusivamente dipendenti da esse.

L'assenza invece, fino ad oggi, d'una riflessione specifica sul rapporto controverso fra restauro e impianti, sommata all'espansione straordinaria delle tecnologie e dei macchinari impiantistici (e

delle corrispondenti implicazioni normative) nell'architettura contemporanea e delle conseguenti attese prestazionali e di 'comfort' anche in riferimento ai vecchi edifici, fa sì che oggi tali opere presentino caratteri d'invasività e pervasività che rischiano di compromettere anche la più seria e rispettosa progettazione. Si sta tentando di porre rimedio a questo pericoloso ritardo con ricerche e pubblicazioni apposite ma anche con una sperimentazione molto puntuale; non ultimo, un buon aiuto viene dal mondo della produzione che mette in commercio, quasi a getto continuo, sistemi e strumenti capaci di ridurre l'impatto dei nuovi impianti sulle antiche preesistenze e di favorire nel contempo modalità, prima impensabili, di conservazione dei vecchi impianti, qualche volta ormai pienamente 'storici'.

Fondamentali, a questo riguardo, si dimostrano alcuni concetti-base tratti dal campo del consolidamento strutturale, come s'è detto oggi forse quello più avanzato e prossimo agli sviluppi teorici del restauro; fra questi la distinzione dell' 'adeguamento' strutturale (nel nostro caso, impiantistico, in funzione d'una completa rispondenza alle attuali norme di legge e prescrizioni, anche europee) dal 'miglioramento' (in funzione d'una più appropriata e misurata qualità prestazionale), dove il secondo termine rappresenta una modalità meno schematica, più appropriata e più flessibile per avvicinare il bene architettonico o archeologico alle esigenze d'una soddisfacente fruizione, per quanto possibile vicina ai moderni 'standard' di sicurezza, accessibilità, 'comfort' ambientale. Ciò per mezzo d'un lavoro non di meccanica e spesso devastante rispondenza ai dettati di legge ma d'aggiustamento e discussione sulla concreta realtà materiale e figurale del bene stesso; vale a dire tramite un'opera di ottimizzazione e di continuo temperamento d'istanze, anche diverse, tutte meritevoli e tutte sostenute da leggi dello Stato parimenti ordinate (leggi di tutela, sulla sicurezza, sull'accessibilità, sul risparmio energetico ecc.). Da qui la necessità di ragionare, sempre dialogando, per progetti e per sistemi, non per singoli aggiustamenti, sapendo rinunciare all'inessenziale e attivando ogni possibile sinergia a fini, per esempio, di riduzione dell'intrusività degli accorgimenti da adottare.

Questo è proprio l'atteggiamento da seguirsi, nell'*iter* di progettazione, per la definizione degli interventi impiantistici giudicati indispensabili; cui si deve certamente ottemperare ma in termini, dapprima, d'interrogazione insistita del manufatto, per conoscerlo a fondo, poi coniugando le ragioni del progetto architettonico e di quello strutturale e geotecnico con quelle del progetto impiantistico in modo da utilizzare al meglio i lavori da farsi, indirizzando nelle zone di minore valenza storica, già individuate a questi fini, anche i percorsi degli impianti.

Il progetto è infatti la sintesi creativa delle diverse esigenze, dove ciò che si fa per rispondere alle moderne necessità funzionali o di presentazione assume il ruolo di normale provvidenza destinata ad assicurare, a tutti, la migliore fruizione del bene, in piena libertà e sicurezza.

In sostanza, il restauro architettonico è certamente un 'fare architettura' e passa, come s'è detto chiaramente, attraverso la redazione di un progetto e la successiva conduzione di un cantiere, ma non è un'attività professionale 'tout court' né qualcosa di delegabile, in maniera tutt'affatto impersonale, a piacere. È in primo luogo indagine scientifica, filologica e storico-critica; è un lavoro lungo e faticoso che si riconosce in un modo piuttosto tradizionale e severo di fare professione il quale è, sempre, anche un ricercare ed uno studiare continuo, dal primo contatto col monumento alla chiusura del cantiere ed oltre, se si pensa ai temi della manutenzione nel tempo; un fare propriamente 'artigianale' e personale, legato ad un impegno individuale, assunto in proprio dall'architetto responsabile e da lui comunicato e condiviso con gli altri specialisti di un gruppo di lavoro che dovrebbe costruirsi in modo interdisciplinare, proprio come un sodalizio di ricerca scientifica.

Resta ancora da svolgere un impegnativo lavoro di acculturazione in materia e di specifico approfondimento. Ciò in termini di affinamento metodologico e di chiarimento dei principi-guida, da un lato, di conoscenza delle opportunità e delle nuove soluzioni tecnologiche dall'altro.

Criteri di restauro

Volgendosi ai principali richiami di teoria del restauro, si potrà trovare già nella *Carta di Atene* del 1931, al punto V, un'affermazione favorevole all'"impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna" e nella *Carta del restauro italiana* del 1931, in premessa, l'invito affinché, in tema di restauro, "nessuna ragione di fretta, di utilità pratica, di personale suscettibilità" possa imporre "manifestazioni che non siano perfette, che non abbiano un controllo continuo e sicuro". Poco dopo, all'art.7, la giusta apertura alle "aggiunte ... necessarie ... per la pratica utilizzazione del monumento", secondo il "criterio essenziale" di "limitare tali elementi nuovi al minimo possibile". Quasi nulla, a tale riguardo, afferma la *Carta di Venezia* del 1964 mentre la *Carta del restauro M.P.I.* del 1972, all'art. 5, richiama la necessità del progetto e di un'approfondita "relazione tecnica", insieme, art. 8, all'attenzione per la 'reversibilità' degli interventi, la loro rilavorabilità ed eventuale correzione nel tempo, l'importanza, ancora una volta, della 'relazione scritta' sui lavori eseguiti; all'art. 9 consiglia un cauto sperimentalismo, da cui discende la preferenza per soluzioni ampiamente collaudate e autorizzate dal ministero competente, allora della Pubblica Istruzione. Nelle *Istruzioni* relative ai monumenti architettonici la medesima Carta raccomanda la costante manutenzione, il profilo sostanzialmente "conservativo" degli interventi, l'impiego di nuove utilizzazioni, purché "non ... incompatibili", lavori di adattamento "limitati al minimo", una progettazione fondata sul rilievo e sullo studio accurati del monumento, la conduzione delle opere possibilmente in economia, invece che a misura o a cottimo, la diretta e continua vigilanza sui lavori (per il rischio di danni irreversibili alle antiche testimonianze), il rispetto dell'autenticità degli elementi costitutivi.

Da qui, sintetizzando, i noti criteri operativi e prudenziali, vale a dire la compatibilità (fisico-chimica ma, in questo campo, anche estetica), la reversibilità, il minimo intervento, la distinguibilità di nuovo e antico, il rispetto dell'autenticità, posti a guida d'ogni tipo di restauro tanto generalmente inteso quanto specificatamente di riuso, ristrutturazione, miglioramento strutturale, impiantistico o tecnologico.

Ogni corretto approccio di restauro passa per lo studio preliminare dell'edificio, svolto con riferimento anche agli impianti. Con ciò s'intende, in primo luogo, il rilevamento geometrico, strutturale, dei materiali, delle tecniche costruttive, del degrado. Questa, associata alla consueta indagine archivistico-bibliografica ed alla lettura critica, è la strada maestra per la comprensione dei valori e della storia del manufatto; quindi per l'individuazione delle zone di 'minor resistenza' storico-artistica dove poter disporre i nuovi impianti; per il riconoscimento di vecchi impianti da recuperare nella loro funzione originaria (impianti elettrici, idraulici ecc.) o cambiandone la funzione (cavedi, condotti di convogliamento delle acque); per l'individuazione delle caratteristiche edilizie che possano agevolare il passaggio dei moderni tracciati (dislivelli di piani, elementi di comunicazione verticale, rinfianchi di volte, rilevanti spessori del sottofondo ecc.). Solo in seguito sarà opportuno ricorrere ad analisi supplementari, sempre, in un primo tempo, di natura non distruttiva (termografia, ultrasuoni, endoscopie ecc.) necessarie a rilevare eventuali discontinuità murarie utili alla ricostruzione delle vicende e modifiche costruttive ma anche a rilevare tracce residue di vecchi impianti, canne fumarie, fodere, intercapedini, locali murati.

Ulteriori approfondimenti tematici consentiranno d'individuare le patologie strutturali e superficiali specifiche dell'edificio, di mirare eventuali saggi di cantiere, di calibrare la proposta d'intervento generale e quella specificatamente impiantistica.

Non vanno sottovalutate, infine, la consistenza e la qualità intrinseca degli impianti antichi, spesso testimoni di una saggezza progettuale orientata anche allo sfruttamento bioclimatico degli edifici (soleggiamento e ventilazione) e delle proprietà d'inerzia termica dei materiali. Ciò è testimoniato nel mondo romano e medio-orientale antico ma, ancora oggi, per esempio, in ambiente islamico: si pensi agli impianti di ventilazione naturale presenti in Marocco od ai sistemi di raffreddamento delle acque potabili in Iran o, diversamente, ad alcuni accorgimenti funzionali ed igienici in fabbricati europei settecenteschi (controllo della ventilazione nell'ospedale di S. Gallicano in Roma).

Come sempre nel restauro le competenze culturali e professionali giocano un ruolo determinante, che si estende dall'architetto e dall'ingegnere - progettista, direttore dei lavori o consulente specialistico - fino alle imprese appaltatrici ed alle loro maestranze, che andranno anch'esse selezionate opportunamente. Ma ancora di più emerge, in simili circostanze, il ruolo d'una committenza, tanto pubblica quanto privata, consapevole, che sola potrà imprimere all'iniziativa di restauro la giusta direzione. Ciò già nella stesura del programma funzionale (perché sia compatibile con la preesistenza, anche a costo di qualche rinuncia come, ad esempio, la definizione d'un numero programmato di visitatori in un museo), nell'affidamento dell'incarico di progetto (col rispetto dei necessari tempi di studio e d'analisi del manufatto, con la scelta di professionisti qualificati e specializzati, capaci di coniugare il rigore metodologico con una positiva inventiva progettuale) e nelle stesse procedure di gara d'appalto.

Solo una situazione costruita, fin dall'origine, con intelligenza e specifica sollecitudine potrà garantire, al di là degli stessi vincoli e delle prescrizioni che potrebbero venire dagli organi pubblici di controllo, quel rispetto e quei validi risultati di cui i beni culturali, per la loro intrinseca fragilità, unicità e irripetibilità, hanno reale bisogno.

4.1.2. Isolanti termici e isolamento termico dell'involucro edilizio

Gli interventi volti a ottimizzare la prestazione energetica degli edifici in maniera passiva si basano come misura principale sul controllo della quantità di energia termica che il manufatto scambia con l'ambiente. Tali interventi sono strettamente legati alle condizioni microclimatiche esterne, variabili nel tempo e nello spazio; per questa ragione, soprattutto nei climi temperati, in cui si verificano notevoli escursioni termiche stagionali e giornaliere, è importante rendere compatibili le necessità di riscaldamento e raffrescamento. In particolare, durante l'inverno l'obiettivo principale è quello di favorire la produzione, captazione e accumulo di calore all'interno dell'edificio, limitando nel contempo le dispersioni termiche verso l'esterno. Il primo risultato può essere raggiunto massimizzando lo sfruttamento dell'energia solare e ottimizzando gli apporti termici gratuiti generati all'interno dell'edificio come sottoprodotto di altri processi (ad esempio, il calore prodotto dagli utenti e/o dagli apparecchi e dispositivi atti alla fruizione); il secondo migliorando l'isolamento termico complessivo delle chiusure trasparenti e opache: in questo modo, è possibile integrare il rendimento degli impianti attivi, diminuendo la domanda di energia primaria necessaria per il raggiungimento delle condizioni di comfort.

Per *isolamento termico* si intendono tutte le operazioni volte a ridurre il flusso di calore scambiato tra due ambienti a temperature differenti; durante il periodo invernale, il suo impiego è finalizzato principalmente a contenere il calore all'interno dell'edificio, limitando le dispersioni termiche verso

l'esterno. Le proprietà isolanti di una parete opaca dipendono, in generale, dallo spessore e dalla conducibilità termica dei materiali che la compongono⁴³. In questo senso, le pareti massive che generalmente caratterizzano l'edilizia storica possiedono un livello medio di conducibilità termica, a fronte di elevati spessori: ciò garantisce spesso un buon livello di isolamento delle chiusure opache e consente di concentrare gli interventi verso la riduzione delle infiltrazioni o il rinnovo, sostituzione e integrazione delle chiusure trasparenti. Nel caso in cui, al contrario, anche la coibentazione delle pareti fosse ritenuta insufficiente, è possibile integrare il sistema murario con appositi strati di materiale isolante, la cui conducibilità termica molto bassa permette di migliorare notevolmente le prestazioni termiche del pacchetto murario a fronte di ridotti spessori.

Nondimeno, l'aggiunta di uno strato isolante in un edificio vincolato è un intervento comunque invasivo e delicato, da adattare di volta in volta alle condizioni specifiche del singolo manufatto. Da una parte, essa rappresenta un'alterazione più o meno marcata dei prospetti interni e/o esterni, la cui compatibilità dipende dalle qualità storico-architettoniche dell'elemento di involucro su cui si opera e dalla sua suscettività alla trasformazione (ad esempio, dalla presenza di apparati decorativi o rilievi da salvaguardare). In questo senso, solitamente le necessità di conservazione dei sistemi morfologici e delle finiture dell'edificio influenzano in maniera preponderante il posizionamento dello strato isolante (cfr. § 4.1.4.), anche laddove non ottimizzassero le prestazioni energetiche che il manufatto dovesse raggiungere.

Inoltre, l'addizione di un nuovo componente all'involucro opaco può determinare implicazioni negative sul comportamento igrometrico delle pareti, con possibile formazione di condensa interstiziale.

In particolare, negli edifici tradizionali si riscontra più comunemente la presenza di materiali ad elevata porosità, accanto all'impiego di elementi costruttivi generalmente privi di barriera al vapore o impermeabilizzazioni; ciò determina un maggiore livello di umidità, che ha la sua controparte in una più facile evaporazione dell'umidità interna dell'edificio⁴⁴. Per questi motivi, la scelta dell'isolante termico deve conformarsi alla permeabilità e traspirabilità del sistema murario esistente, o essere controbilanciata da misure alternative per la dissipazione dell'umidità in eccesso, come un incremento della ventilazione naturale, la quale, di contro, incrementa le dispersioni termiche⁴⁵.

Tra i vari materiali isolanti presenti sul mercato, dunque, appaiono particolarmente adatti alla riqualificazione degli edifici storici i materiali fibrosi naturali (cfr. scheda M.4), sia organici (come le fibre vegetali, la lana di pecora, la fibra di cellulosa) che inorganici (come la perlite e la vermiculite espansa, molto utilizzata per gli intonaci termoisolanti). Tali isolanti derivano da materiali che posseggono una struttura a celle aperte, con un numero elevato di fibre di forma allungata, che costituiscono un reticolo capace di trattenere l'aria calda e limitare le collisioni tra molecole gassose, riducendo la trasmissione di calore per convezione e irraggiamento. Inoltre, tale

⁴³ La quantità di calore scambiata da un corpo per unità di superficie viene calcolata attraverso il parametro della trasmittanza. La trasmittanza U (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°K ed è legata allo spessore e alla conducibilità termica degli strati che compongono il corpo. La conducibilità termica λ rappresenta la capacità che ha un materiale di condurre calore: viene definita come la quantità di calore, misurata in Watt, che fluisce ogni secondo attraverso 1 mq di materiale dello spessore di 1 ml con una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1°K.

⁴⁴ Tubi N., Silva M. P., Ditri F., *Gli edifici in pietra*, Sistemi Editoriali, 2009.

⁴⁵ Cerroni F., *Progettare il costruito: tecnologie per la riqualificazione sostenibile dei siti ad elevata qualità storica e ambientale*, Roma, Gangemi, 2010.

struttura li rende traspiranti e igroscopici, cioè capaci di assorbire, trasmettere ed emettere, anche in forma liquida, il vapore e l'umidità dell'aria; questa caratteristica avvicina il loro comportamento termoigrometrico a quello della muratura tradizionale, umida e traspirante, assecondando la naturale permeabilità dell'involucro.

Un'altra questione da tenere presente negli interventi di isolamento, che prevedono l'aggiunta di un nuovo strato superficiale all'involucro esistente, è legata alle necessità fruttive degli spazi e all'eventuale riduzione dei volumi utili, soprattutto qualora si preveda di applicare il materiale isolante al prospetto interno dell'edificio. In questo caso, è possibile adottare componenti ad altissime prestazioni, come gli isolanti termoriflettenti (cfr. scheda M.1) o gli isolanti sottovuoto (cfr. scheda M.2), i cui spessori estremamente ridotti permettono di ottimizzare l'integrazione con l'esistente; nondimeno, la loro azione di barriera al vapore richiede un'attenta valutazione dell'igrometria della parete.

Gli isolanti termoriflettenti sono composti da pellicole metalliche a bassa emissività, confinate in intercapedini d'aria, che tendono a riflettere verso l'esterno la maggior parte della radiazione solare che li colpisce; i componenti raggiungono un massimo di 6 cm di spessore e la loro flessibilità e facilità di taglio e posa in opera li rende adatti a rivestire morfologie complesse in maniera reversibile.

Gli isolanti sottovuoto, invece, rappresentano una tecnologia dalle altissime prestazioni, ma ancora piuttosto costosa e complessa da applicare. I pannelli vengono privati dell'aria al loro interno fino a ottenere bassissime pressioni: tale processo garantisce prestazioni molto elevate di coibentazione con spessori dell'ordine di 2-3 cm, paragonabili allo spessore di un intonaco. Nondimeno, la fragilità e rigidità di tali pannelli rende complesso l'impiego dei pannelli sottovuoto per realizzare coibentazioni di piani morfologicamente irregolari per risolvere ponti termici di forma, che si verificano negli angoli degli edifici, quando si hanno materiali omogenei; ciò ne limita l'applicazione a facciate regolari e sistemi complanari.

Infine, per la coibentazione di un edificio, è necessario anche limitare le discontinuità nelle proprietà termiche dell'involucro. Tali discontinuità, definite *ponti termici*, mettono a contatto le superfici esterne con quelle interne tramite elementi ad alta conducibilità di calore. I ponti termici possono essere di forma o di struttura. Nel primo caso, si verificano nelle zone d'angolo tra materiali omogenei; nel secondo, compaiono in corrispondenza della connessione tra elementi con diverse caratteristiche termiche, come le strutture a telaio e le chiusure verticali, o le chiusure e gli infissi. Durante l'inverno, i ponti termici causano la diminuzione della temperatura superficiale interna, con il rischio di provocare fenomeni di condensa qualora tale temperatura sia inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria⁴⁶; durante l'estate, al contrario, essi permettono la penetrazione del calore dall'esterno verso l'interno causando surriscaldamento dell'aria interna. Entrambi i fenomeni hanno come effetto ritiri e degradi meccanici e fisici visibili sulle superfici, ma anche interni alle strutture edilizie. La riduzione dei ponti termici è legata alla continuità, per tutta la superficie del manufatto, del comportamento dei componenti nei confronti del passaggio del calore; nel caso in cui si preveda l'introduzione di uno strato isolante, la cui conducibilità termica è solitamente molto inferiore a quella delle chiusure tradizionali, è importante garantire una fodera omogenea dell'involucro, esterna o interna (cfr. § 4.1.4).

⁴⁶ Per temperatura di rugiada si intende la temperatura in corrispondenza della quale, a una data pressione, una miscela liquido-vapore diventa satura di vapore.

4.1.3. Chiusure orizzontali superiori

Negli edifici storici, le chiusure opache orizzontali superiori sono spesso realizzate tramite coperture a falda, solitamente su struttura di legno, o tramite coperture piane. Dal punto di vista delle prestazioni energetiche, le chiusure rappresentano un limite termoigrometrico tra interno ed esterno: esse servono per controllare le modalità spaziali e temporali di accumulo e il rilascio dei flussi termici in entrata e in uscita attraverso l'edificio. Al fine di ottenere un'ottimizzazione del riscaldamento passivo, tale controllo si esplica principalmente nel contenimento delle dispersioni; ai fini del raffrescamento, invece, nella minimizzazione della radiazione incidente e nella dissipazione del calore in eccesso.

Le coperture rappresentano la porzione di involucro maggiormente soggetta alle sollecitazioni chimiche, meccaniche e fisiche dovute agli agenti atmosferici, soprattutto alla radiazione solare, al vapore e alla pioggia.

Laddove possibile, si possono ipotizzare interventi che migliorino il funzionamento passivo del manufatto edilizio, ad esempio attraverso la realizzazione di lucernai o camini di ventilazione, oppure interventi che riguardino l'integrazione di sistemi attivi di produzione di energia (cfr. § 4.4). In quasi tutti gli interventi che prevedano la rimozione del manto di copertura per migliorare le prestazioni degli strati sottostanti, come l'introduzione di uno strato isolante o di un'intercapedine ventilata, è possibile ipotizzare il restauro e la reintegrazione degli elementi di finitura esistenti, in genere le tegole, operazione che consente di non alterare l'aspetto della fabbrica.

Le chiusure orizzontali devono anche garantire la tenuta all'acqua, in quanto anche le piccole infiltrazioni, che si possono verificare per capillarità o a causa del ciclo gelo e disgelo, possono comportare ponti termici e fenomeni di condensa superficiale e interstiziale. Garantire la tenuta all'acqua significa in particolare impedire le infiltrazioni delle precipitazioni atmosferiche. I manti di copertura discontinui garantiscono la tenuta all'acqua mediante la sovrapposizione di piccoli elementi posati in pendenza, dove è la conformazione delle pendenze e la connessione tra i singoli elementi costituenti ad assicurare la tenuta all'acqua, garantendone lo smaltimento per gravità; nelle coperture continue, il manto è attuato con elementi molto ampi congiunti insieme durante la posa in opera, in modo da assicurare la tenuta per qualsiasi pendenza. L'integrazione di strati impermeabili permette di ottenere un'efficace tenuta all'acqua; tuttavia, qualora tali strati realizzino anche la tenuta all'aria, il loro impiego può essere effettuato solo nel caso sia compatibile con il comportamento termoigrometrico complessivo della fabbrica.

Riscaldamento

Il riscaldamento invernale può essere ottimizzato principalmente migliorando la coibentazione delle chiusure orizzontali. Ad esclusione degli edifici voltati, solitamente nelle fabbriche storiche i tetti sono realizzati con materiali a ridotta massa termica e ridotto spessore, che difficilmente possono garantire una buona inerzia termica, rendendo necessaria l'integrazione di un apposito strato isolante.

A seconda delle caratteristiche della copertura esistente, sia essa piana o inclinata, della presenza di condensa interstiziale o superficiale, delle modalità d'uso degli ambienti sottotetto e del comportamento termoigrometrico generale dell'involucro, l'intervento sulla copertura può prevedere una delle seguenti modalità:

- strato isolante all'estradosso della copertura non ventilato;
- strato isolante all'estradosso della copertura ventilato;

- strato isolante all'intradosso della copertura.

In.1. Isolamento all'estradosso non ventilato

L'isolamento all'estradosso della copertura non ventilato prevede la rimozione e sostituzione del manto di copertura attraverso l'applicazione di uno strato continuo di pannelli isolanti protetti all'esterno da uno strato di finitura, che può essere composto dalle tegole nel caso di tetti spioventi, o da ghiaia o pavimento nel caso di tetti piani. In riferimento alle condizioni specifiche della copertura, è possibile optare per la soluzione tecnologica del tetto caldo (lo strato isolante è posizionato sotto il manto impermeabile) o del tetto rovescio (il materiale isolante è posizionato sopra il manto impermeabile).

In.2. Isolamento all'estradosso ventilato

L'aggiunta di un'intercapedine ventilata a ridosso dello strato isolante evita il ristagno di umidità e la formazione di condensa; inoltre, durante la stagione estiva nell'intercapedine si generano moti convettivi che dissipano il calore in eccesso delle strutture, contribuendo al raffrescamento dei locali.

In.3. Isolamento all'intradosso

L'isolamento all'intradosso della copertura consente di migliorare la coibentazione dell'involucro, senza eliminare i ponti termici strutturali. Dal momento che l'intervento riduce il volume utile dei locali, è necessario garantire il rispetto dei vincoli di altezza da normativa; inoltre, è buona norma scegliere materiali isolanti con alte prestazioni anche in presenza di spessori ridotti, come gli isolanti termoriflettenti (cfr. scheda M.1) o sottovuoto (cfr. scheda M.2).

Qualora, per ragioni specifiche, non sia possibile intervenire in alcun modo sul manto di copertura, occorre ripensare opportunamente alle destinazioni d'uso degli ambienti, utilizzando il sottotetto come *buffer space* (cfr. § 4.4.3) e per quelle attività che non richiedano requisiti di temperatura troppo controllati. In questo caso, lo strato isolante può essere collocato all'estradosso dell'ultimo solaio (dunque all'interno del sottotetto), con modalità in tutto simili all'isolamento all'intradosso delle chiusure orizzontali inferiori (cfr. scheda In.15).

Raffrescamento

Le tecniche di raffrescamento passivo applicate all'involucro possono essere suddivise in due classi di intervento. La prima si basa su espedienti progettuali di tipo preventivo, finalizzati cioè a ridurre gli apporti termici esterni prima che investano l'edificio; la seconda sul controllo delle modalità con cui tali flussi possono attraversare le chiusure e possono essere successivamente dissipati assieme agli eventuali guadagni termici interni. Per le coperture, la prima classe di intervento può essere effettuata agendo sulla morfologia delle superfici di involucro e sulla loro finitura superficiale; la seconda lavorando sulla progettazione ed il calcolo della capacità termica e del potere coibente dei materiali e introducendo sistemi di ventilazione naturale o controllata. In edifici sottoposti a vincolo, l'alterazione morfologica delle coperture può essere prevista quasi esclusivamente in caso di estremo deterioramento o crollo di porzioni di tetto, qualora sia compatibile con il carattere storico-artistico della fabbrica.

La finitura superficiale modifica la quota di energia solare che viene riflessa o assorbita dai materiali, propagandosi verso l'interno dell'edificio; tale quota dipende dall'angolo di incidenza, dalla rugosità della superficie e dal coefficiente di riflessione, o *albedo*, dei materiali impiegati. L'albedo rappresenta la percentuale di radiazione che viene riflessa e, per differenza, assorbita da un

materiale: esso influenza fortemente la propagazione dell'energia solare nell'ambiente, sia disperdendola verso l'atmosfera che reindirizzandola verso le strutture limitrofe⁴⁷. I valori dell'albedo dipendono da diverse caratteristiche del materiale, tra cui il colore e la ruvidezza; in generale, più il materiale è chiaro, maggiore sarà il valore dell'albedo. Per ottimizzare la dissipazione della radiazione solare verso la volta celeste, compatibilmente con i caratteri estetici dell'organismo edilizio, è buona norma utilizzare finiture chiare per le coperture, soprattutto nel caso di tetti piani, che ricevono il massimo irraggiamento solare estivo. In alternativa, soprattutto nel caso sia necessario mantenere una particolare colorazione superficiale, è possibile impiegare particolari materiali e pigmenti, detti *cool materials* (cfr. scheda M.10), caratterizzati da un valore molto alto dell'albedo anche a fronte di colorazioni e trattamenti superficiali variabili, grazie all'impiego di particolari componenti del materiale⁴⁸. Superata la fase di sperimentazione e di commercializzazione, tali prodotti hanno raggiunto uno standard testato⁴⁹ e si possono applicare a tutte le principali tipologie di finiture; possono essere impiegati per le operazioni di manutenzione, fornendo buone prestazioni di riflessione dell'irraggiamento solare senza alterare il carattere estetico della fabbrica.

In. 2. Realizzazione di una copertura ventilata

L'introduzione di un'intercapedine per la ventilazione al di sopra dello strato isolante permette di dissipare per raffrescamento convettivo parte del calore derivante dall'irraggiamento solare estivo⁵⁰. Tale intercapedine deve avere un adeguato spessore in rapporto alle dimensioni della copertura ed essere messa in diretto contatto con l'ambiente esterno. Nelle coperture inclinate, il flusso d'aria è determinato dal gradiente termico dovuto all'elevata temperatura dell'aria contenuta nell'intercapedine e all'effetto camino⁵¹; benché le giaciture orizzontali riducano al minimo l'effetto camino, nondimeno la movimentazione d'aria generata dal vento provvede comunque al ricambio d'aria nell'intercapedine. Compatibilmente con i caratteri morfologici dell'edificio, la portata dell'aria può essere incrementata variando la sezione dell'intercapedine per sfruttare l'effetto Venturi⁵².

⁴⁷ La quantità di energia irraggiata nell'ambiente dalle strutture è funzione della loro emissività ϵ , che rappresenta la frazione di radiazione emessa dal materiale rispetto alla radiazione che emetterebbe un corpo nero alla stessa temperatura. Per i materiali da costruzione, esclusi i metalli, il valore dell'emissività è sempre molto alto (dell'ordine di 0,9 – 0,95), per cui si può generalmente trascurare nell'analisi dei materiali.

⁴⁸ Synnefa A., Santamouris M., Apostolakis K., *On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment*, « Solar Energy », vol. 81, fasc. 4, 2007, pp. 488–497.

⁴⁹ Per una descrizione dello standard *Cool Roof* per i materiali da copertura, cfr. i risultati del progetto *Coolroofs*, cofinanziato dall'Unione Europea all'interno del programma *Intelligent Energy Europe II*, consultabili in Internet (20.12.2012) <http://www.coolroofs-eu.eu/>; cfr. anche Yannas S., Erell E., Molina J. L., *Roof cooling techniques: a design handbook*, London, Earthscan, 2006.

⁵⁰ Un'altra funzione dell'intercapedine è quella di evitare il ristagno d'acqua in corrispondenza dell'isolamento termico durante il periodo invernale; cfr. il sottoparagrafo *Riscaldamento* all'interno del § 4.1.3.

⁵¹ L'effetto camino consiste nella naturale tendenza dell'aria o dei gas a salire quando sono riscaldati a causa della loro minore densità rispetto all'aria o ai gas circostanti. Quando, per effetto della radiazione solare incidente, si formano all'interno di un'intercapedine differenze di temperatura tali da permettere una stratificazione termica, si innesca un flusso d'aria calda ascendente.

⁵² L'effetto Venturi è il fenomeno fisico per cui la pressione di una corrente fluida aumenta con il diminuire della velocità; al contrario, quando una corrente d'aria è costretta ad attraversare una sezione più piccola si ha un aumento della velocità e una diminuzione della pressione in corrispondenza della strozzatura.

La copertura, essendo la porzione di edificio maggiormente esposta alla volta celeste, può essere sfruttata per il raffrescamento radiativo, che si basa sul principio del trasferimento di radiazione infrarossa da un corpo ad una certa temperatura ad uno a temperatura più bassa, che svolge la funzione di pozzo termico. Il raffrescamento radiativo diretto prevede la dissipazione del calore direttamente dall'ambiente sottotetto all'esterno attraverso la copertura; può essere previsto solo nel caso in cui la copertura non sia isolata o l'isolamento sia operabile.

Qualora fosse possibile realizzare una porzione dello strato esterno con una sottile lastra metallica, la copertura può diventare un sistema di raffrescamento radiativo indiretto, nel quale lo scambio termico tra ambiente interno e pozzo termico viene attuato attraverso il passaggio di un fluido vettore (aria o acqua) in condotti a contatto con la superficie emettente. La lastra radiante, raffreddata per esposizione al cielo notturno, riceve il calore contenuto nel fluido sottostante; questo, a sua volta, si raffredda e viene trasportato, attraverso un ventilatore o una pompa, rispettivamente all'ambiente o alla massa di accumulo da raffreddare⁵³. Il principale limite di applicazione dei sistemi di raffrescamento radiativo è di tipo climatico: le zone a clima umido non sono idonee a tali sistemi, in quanto l'umidità assorbe la radiazione a onde lunghe. Un altro problema è il costo elevato, legato sia al controllo dei meccanismi operabili, che alla manutenzione.

4.1.4 Chiusure verticali opache

Negli edifici storici, le chiusure opache verticali sono generalmente composte da pareti massive, solitamente in pietra o laterizio pieno, che riuniscono in un unico componente la funzione strutturale e quella di barriera tra interno ed esterno dell'edificio.

Per quanto riguarda il comportamento termoigrometrico delle chiusure verticali, d'inverno il contenimento delle dispersioni si esplica attraverso l'isolamento termico e la limitazione delle discontinuità termiche; d'estate, invece, la dissipazione del calore in eccesso viene attuata grazie all'ottimizzazione della capacità dell'involucro di immagazzinare e riemettere calore con un certo sfasamento temporale. In più la finitura interna e le caratteristiche morfologiche delle chiusure opache in corrispondenza delle aperture contribuiscono alla diffusione della radiazione solare luminosa e dunque al potenziamento dell'illuminazione naturale.

Questo ventaglio di esigenze che le chiusure devono soddisfare, dipendenti dalle variabili condizioni microclimatiche esterne, rende necessario un approccio sintetico agli interventi, che possa trovare un equilibrio tra le necessità stagionali, tenendo conto del bilancio termico dell'edificio nell'arco dell'intero anno solare. Nel nostro caso specifico di riqualificazione di edifici vincolati, le strategie proposte devono inoltre essere rispettose delle caratteristiche del manufatto, non solo in termini di qualità storico-architettonica della fabbrica, ma anche di funzionamento bioclimatico del sistema edilizio. Gli edifici storici possiedono infatti un comportamento termoigrometrico sedimentato, adattato alle richieste di comfort delle diverse epoche di utilizzo, che dipende dalle caratteristiche dei materiali e delle tecnologie tradizionali impiegate: la comprensione preliminare di questo comportamento (cfr. § 2.2) consente di adeguarlo alle necessità contemporanee esaltandone le prestazioni ed evitando alterazioni improprie potenzialmente dannose (ad esempio, l'impermeabilizzazione delle pareti massive tradizionali, dotate di elevata traspirabilità, che può generare fenomeni di condensa).

⁵³ Il funzionamento è simile ai camini di ventilazione e ai camini solari; cfr. § 4.4.3.

Riscaldamento passivo

Per quanto riguarda l'ottimizzazione del riscaldamento invernale, essa può essere potenziata principalmente agendo sulle capacità coibenti dell'involucro. Frequentemente, lo spessore e la media conducibilità termica delle pareti massive dell'edilizia storica garantiscono valori accettabili di trasmittanza termica delle pareti; qualora invece tale valore fosse ritenuto troppo elevato, è possibile integrare l'involucro con uno strato isolante specifico.

A seconda del carattere storico-architettonico del manufatto e delle sue necessità di conservazione, della prestazione energetica richiesta, del comportamento termoigrometrico dei componenti esistenti, lo strato isolante può essere collocato secondo una delle seguenti modalità⁵⁴:

- strato isolante esterno (il cosiddetto “isolamento a cappotto”);
- strato isolante interno;
- intonaco termoisolante interno o esterno.

Il posizionamento dello strato isolante segna il confine tra il regime termico interno e quello esterno, influenzando la risposta dell'edificio alle condizioni climatiche. Se lo strato isolante viene collocato all'interno la massa della chiusura viene estromessa come massa termica e dunque la risposta alle variazioni di temperatura interna è più rapida: la struttura è appropriata per ambienti con uso discontinuo, caratterizzati da frequenti accensione e spegnimento dell'impianto di climatizzazione; inoltre, durante il periodo estivo, viene impedito l'uso della muratura come sistema di accumulo e dissipazione del calore, riducendo il raffrescamento passivo dell'involucro. Al contrario, l'isolamento della facciata esterna modera le fluttuazioni di temperatura superficiale e dell'aria e l'ambiente impiega più tempo a riscaldarsi e a raffreddarsi, ma mantiene la stessa temperatura più a lungo: la soluzione è adatta per ambienti con funzionamento continuo dell'impianto, che, grazie alla massa termica, può essere eventualmente impiegato a minore regime; in più essa consente, durante l'estate, di ottimizzare il raffrescamento passivo.

In.4. Isolamento esterno

Il sistema di isolamento termico dall'esterno consiste nell'applicazione di uno strato isolante sulla superficie esterna dell'edificio; esso può essere dunque utilizzato solo nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici dei prospetti. D'altra parte, la coibentazione dall'esterno non altera i volumi o le pareti interne dell'edificio e, se distribuita con continuità, diminuisce l'effetto dei ponti termici: per questa ragione, è bene abbinare l'isolamento delle chiusure verticali a quello delle chiusure orizzontali inferiori e superiori. Malgrado ciò, in presenza di balconi o logge, è possibile che il ponte termico non possa essere risolto dall'esterno.

In.5. Intonaco termoisolante esterno

Qualora l'intonaco sia l'unico elemento di intervento possibile, o esso rappresenti un rivestimento continuo rispetto alle interruzioni dell'involucro, si può procedere alla stesura di uno strato di intonaco termoisolante. Tale tecnica fornisce un grado di coibentazione meno efficiente rispetto al cappotto esterno a causa degli spessori ridotti e delle limitate proprietà di isolamento dei materiali utilizzati. L'uso di calci naturali e di isolanti fibrosi (vedi scheda M.4) naturali (come la lana di roccia o vetro) o espansi (come la vermiculite), garantisce un elevato grado di traspirabilità, assimilabile alle caratteristiche dei materiali originari; inoltre, la tecnica tradizionale di posa, a

⁵⁴ Negli edifici massivi si sconsiglia, in genere, l'aggiunta di materiale coibente nell'intercapedine delle murature, qualora presente: l'aria contenuta nelle cavità costituisce, solitamente, una barriera all'umidità e l'introduzione del materiale isolante potrebbe causare una minore traspirazione della muratura con conseguenti fenomeni di condensa.

basso impatto con successivi strati di rivestimento⁵⁵, rende l'intervento particolarmente adatto alla riqualificazione di edifici vincolati.

In.6. Isolamento interno

In presenza di vincoli architettonici sulla facciata esterna non intonacata (o caratterizzata da apparati decorativi non intonacati), oppure quando la conformazione del fabbricato limita fortemente la continuità di un rivestimento esterno o di un intonaco termoisolante, è possibile applicare l'isolamento sulle pareti interne dell'edificio. L'intervento, di facile e rapida applicazione, determina una riduzione della superficie di calpestio, dovuta all'ispessimento delle pareti perimetrali verso l'ambiente interno. Inoltre, esso consente di eliminare i ponti termici relativi ai giunti tra parete e serramento e tra spigoli verticali, ma rende complessa la limitazione dei ponti termici strutturali (tra trave e pilastro, o tra parete portante e soletta: in generale, le discontinuità tra superfici verticali e orizzontali): in questo caso, è possibile risvoltare lo strato isolante sui lati delle pareti interne che incrociano quelle esterne⁵⁶, ma ciò comporta un'ulteriore diminuzione del volume utile interno. Per ovviare a questo inconveniente, è opportuno indirizzare la scelta verso materiali di adeguate prestazioni con spessori ridotti, come gli isolanti termoriflettenti (cfr. scheda M.1) o sottovuoto (cfr. scheda M.2), purché siano compatibili con il comportamento igrometrico dell'involucro; lo spessore limitato della coibentazione, inoltre, riduce la necessità di barriera al vapore⁵⁷, diminuendo il rischio di condensa.

Intonaco termoisolante interno

Se lo spessore dello strato interno di isolamento è un elemento critico, oppure se, anche nelle pareti interne, l'intonaco è l'unico elemento di intervento, è possibile utilizzare un intonaco termoisolante interno in alternativa allo strato isolante interno, con modalità in tutto analoghe all'applicazione dell'intonaco termoisolante esterno, ma senza ottenere l'eliminazione dei ponti termici.

Raffrescamento

Relativamente alle chiusure verticali, le strategie di raffrescamento prevedono il controllo delle modalità di incidenza dei flussi termici sulla superficie dell'edificio e della loro propagazione verso gli ambienti interni. Il primo risultato può essere raggiunto attraverso un corretto utilizzo delle schermature solari esterne⁵⁸ e dei materiali di rivestimento della facciata; il secondo attraverso l'ottimizzazione delle masse termiche dell'edificio.

Nei climi temperati, caratterizzati da elevate escursioni termiche, l'inerzia termica della parete acquista particolare importanza durante il periodo di raffrescamento, in cui si assume una maggiore variabilità termica tra il periodo notturno e diurno. Una chiusura dotata di elevata inerzia accumula e rilascia il calore in maniera complessa, diminuendo le oscillazioni della temperatura ambiente dovute ai carichi termici interni ed esterni nell'arco del giorno e introducendo un certo ritardo nella

⁵⁵ Lo strato di intonaco deve avere uno spessore minimo di 4 cm, anche se risulta conveniente applicare diversi strati successivi con uno spessore che può arrivare fino a 5-6 cm (Reyneri di Lagnasco C. A., *Intonaci in bioedilizia*, EdicomEdizioni, 2003).

⁵⁶ Per ridurre i ponti termici bisogna risvoltare per almeno 100-150 cm lo strato isolante dei solai e sui due lati delle pareti interne che incrociano quelle esterne (Davoli P., Keoma A., *Il recupero energetico ambientale del costruito*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2010).

⁵⁷ Qualora lo spessore della fodera isolante interna non superi i 6-8 cm, la barriera al vapore può essere omessa (Ivi).

⁵⁸ In questo senso, assumono importanza non solo le schermature applicate agli elementi trasparenti della fabbrica, o quelle che hanno effetto sull'edificio in generale (come le logge o gli sporti), ma anche i sistemi di schermatura che riguardano il contesto limitrofo dell'edificio, come la vegetazione; cfr. § 4.1.8.

trasmissione dell'onda termica, con intensità smorzata, dalla superficie esterna del muro a quella interna.

Il controllo dell'inerzia termica viene attuato tramite i due parametri di sfasamento e attenuazione⁵⁹, che rappresentano rispettivamente la capacità di ritardare e di ridurre l'effetto di una sollecitazione, flusso termico o variazione di temperatura tra le due facce di un componente edilizio e sono condizionati dallo spessore, densità e calore specifico dei materiali impiegati in un componente.

In linea generale, le chiusure d'estate dovrebbero avere uno sfasamento di circa 12 ore e un'elevata attenuazione: tale configurazione permette di ridurre la potenza del flusso termico in entrata e farlo giungere sulla superficie interna nelle ore più fresche, in cui può essere facilmente dissipato per ventilazione degli ambienti⁶⁰.

Le chiusure massive degli edifici tradizionali, dotate di un'elevata capacità di accumulo termico, hanno anche una buona inerzia termica; nondimeno, l'eventuale presenza di elementi di finitura che separano la superficie interna della parete dall'ambiente o lo sfasamento troppo elevato o troppo basso dell'involucro possono annullare l'effetto positivo della muratura tradizionale. Nel primo caso, è possibile riportare a vista le masse termiche eliminando eventuali addizioni improprie. Nel secondo caso, che riguarda la conformazione esistente dell'edificio, l'azione è più complessa e può interessare, qualora possibile ed economicamente fattibile, l'integrazione di ulteriori masse termiche all'involucro, o meglio l'attivazione delle masse termiche interne dell'edificio, come le partizioni orizzontali e verticali.

Un altro fattore da tenere in considerazione rispetto al raffrescamento è la posizione dello strato di isolamento termico eventualmente aggiunto alle chiusure, dal momento che altera il comportamento delle masse termiche.

Nel caso di un edificio privo di isolamento termico, i carichi termici derivano dal ricambio d'aria, dalla produzione interna di calore e dalla trasmissione attraverso le pareti; nondimeno, nelle migliori condizioni, l'involucro può assorbire tali carichi termici sia interni che esterni durante il periodo diurno e rilasciarli, durante la notte nell'ambiente con la temperatura inferiore, che presumibilmente è quello esterno; ciò significa che la dissipazione del calore può avvenire naturalmente attraverso le pareti.

In un edificio provvisto di strato isolante sul lato esterno della facciata, invece, i carichi termici di trasmissione attraverso le pareti vengono pressoché annullati; la massa termica dell'involucro e delle partizioni assorbe principalmente i carichi interni. Per poter dissipare questi carichi durante i periodi più freschi, però, è necessario utilizzare strategie di raffrescamento radiativo o convettivo. Il raffrescamento convettivo funziona qualora la temperatura dell'aria introdotta sia inferiore a quella dell'ambiente. Per edifici a funzione non residenziale, in cui sia possibile la movimentazione automatica dei serramenti, è possibile indurre una ventilazione naturale notturna, che permetta di rimuovere il calore accumulato dalle strutture in maniera tale da realizzarne un pre-raffrescamento per il giorno successivo. Affinché il processo funzioni correttamente, però, deve esistere una corrispondenza di distribuzione tra il percorso dell'aria e il posizionamento degli ambienti e degli

⁵⁹ Lo sfasamento Φ è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno. Il fattore di attenuazione è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie (UNI EN ISO 13786), e indica la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame.

⁶⁰ Grosso M., Raimondo L., *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato: principi e archetipi bioclimatici, criteri progettuali, metodi di calcolo, esempi progettuali*, Rimini, Maggioli, 2008.

arredi, in maniera tale che questi favoriscano il flusso ventilativo. Tuttavia, l'efficacia dell'intervento dipende dall'escursione termica tra interno ed esterno, che in aree urbane può essere notevolmente ridotta, anche in climi temperati mediamente secchi, dal fenomeno dell'*Isola di Calore Urbana*⁶¹. In alternativa, possono essere adottati sistemi ibridi o forzati di ventilazione (cfr. § 4.1.5), eventualmente accoppiati a una revisione complessiva degli impianti, sempre nel rispetto dei caratteri storico-artistici della fabbrica.

In un edificio provvisto di strato isolante sul lato interno della facciata, invece, il funzionamento termoigrometrico interno delle pareti massive viene annullato, aumentando gli sbalzi termici tra periodo diurno e notturno e riducendo l'importanza della dissipazione termica per ventilazione. Tuttavia, è possibile che le partizioni orizzontali o verticali possano supplire a questa mancanza, se dotate di una buona massa termica.

In caso le masse termiche delle partizioni orizzontali o verticali non siano sufficienti, si può prevedere l'integrazione delle masse termiche interne di solai e pareti perimetrali, compatibilmente con le condizioni di vincolo dell'edificio e con la riduzione del volume utile interno. Da questo punto di vista, una possibilità di intervento innovativa, che sta dando buoni risultati nelle sperimentazioni e nelle fasi applicative, riguarda l'utilizzo di materiali a cambiamento di fase⁶². Tali materiali posseggono un punto di fusione vicino alla temperatura degli ambienti; ciò li rende capaci di accumulare energia termica latente durante il passaggio dallo stato solido allo stato liquido e di rilasciarla nel passaggio inverso, senza variare la propria temperatura durante tale processo. A temperatura ambiente, il materiale è solido. Quando la temperatura dell'ambiente è superiore al punto di fusione, il materiale passa dallo stato solido a quello liquido assorbendo energia; quando, successivamente, la temperatura diminuisce, il materiale cambia nuovamente fase da liquido a solido rilasciando il calore accumulato. Per le applicazioni nel campo dell'edilizia, i migliori risultati si riscontrano con materiali dal punto di fusione prossimo alle temperature di comfort interno, tra 18° e 25°C; in particolare, sono molto impiegati composti organici paraffinici o sali idrati. Tali materiali possono essere integrati nelle chiusure trasparenti o negli elementi opachi; in questo secondo caso, l'applicazione più comune prevede l'aggiunta di microcapsule, con diametro di 2-20 µm, ai materiali tradizionali, in modo da ottenere componenti molto performanti con modalità di posa consuete. In particolare, si stanno mettendo in produzione pannelli di cartongesso per la realizzazione di pareti divisorie e controsoffitti, o speciali intonaci per il rivestimento delle superfici interne. Tali componenti presentano un'inerzia termica estremamente elevata a fronte di ridotti spessori e sono solitamente compatibili con le opere di manutenzione corrente degli edifici storici. Gli svantaggi, invece, sono legati allo stato ancora non perfezionato della tecnica, alle difficoltà di controllo del comportamento specifico dei materiali e alla loro elevata infiammabilità⁶³.

⁶¹ L'effetto per cui, a causa della geometria e delle caratteristiche termiche delle superfici della struttura urbana, la temperatura degli insediamenti è sensibilmente più elevata di quella delle aree limitrofe, è noto come *Isola di Calore Urbana* (Urban Heat Island, HUI). Per un'analisi dettagliata dell'*Isola di Calore Urbana*, cfr. Akbari H., *Cooling our communities: a guidebook on tree planting and light-colored surfacing*, Washington D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, 1992.

⁶² Tyagi V. V., Buddhi D., *PCM thermal storage in buildings: a state of art*, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», vol. 11, fasc. 6, 2007, pp. 1146–1166.

⁶³ Battisti A., *Tecnologie innovative per un involucro edilizio opaco evolutivo*, «Il progetto sostenibile», vol. Recuperare Riquilificare Rigenerare, fasc. 31, 2012, pp. 74–79.

Illuminazione naturale

Per quanto riguarda l'illuminazione naturale, la configurazione interna delle chiusure opache ha un ruolo importante nella diffusione della radiazione luminosa negli ambienti. Qualora la modifica delle superfici interne sia compatibile con i caratteri storico-culturali dell'edificio, per aumentare la distribuzione omogenea in profondità della luce è buona norma utilizzare finiture di colore chiaro; inoltre, in corrispondenza delle partizioni orizzontali superiori, possono essere integrate superfici mediamente riflettenti e diffondenti, che garantiscano altresì il controllo dei fenomeni di abbagliamento. In più, dal punto di vista morfologico, gli imbotti delle aperture e le superfici interne delle chiusure possono essere configurate in maniera tale da smussare gli spigoli vivi.

4.1.5. Chiusure verticali trasparenti

Nel bilancio energetico di un involucro il serramento rappresenta sicuramente un punto critico nella scelta per le sue caratteristiche costruttive (elemento di dispersione del calore attraverso superfici vetrate e giunti/guarnizioni) e per le sue caratteristiche funzionali (ricambi d'aria e ventilazione)⁶⁴. È importante tenere in considerazione se l'intervento sui serramenti altera l'aspetto originale dell'edificio, ma è anche importante gestire le relazioni tra le parti che mutano e quelle che permangono, in particolare quando si opera su edifici dall'elevata massa termica, il cui funzionamento energetico potrebbe essere facilmente alterato dalla scelta dei componenti che regolano la ventilazione⁶⁵.

Il serramento controlla gli scambi tra interno ed esterno in termini di: contenimento della dispersione termica; captazione e utilizzazione dell'energia solare termica; captazione e utilizzazione dell'energia solare luminosa; contatto visivo con l'ambiente esterno; comfort acustico; tenuta all'aria, tasso di ventilazione naturale. Per migliorare il comfort e la prestazione energetica, le azioni per l'efficientazione dei componenti trasparenti dovrebbero comprendere tutti questi aspetti, per poter gestire gli apporti positivi e negativi a seconda delle esigenze stagionali.

I serramenti contribuiscono fortemente alla movimentazione dei flussi termici in entrata ed uscita. Il vetro tradizionale non ha buone proprietà di resistenza alla trasmissione del calore, in quanto ha una conducibilità termica molto elevata che si attesta sui 1,00 W/mK (ISO 10077-1:2006). La sua sostituzione con una vetratura dotata di una resistenza termica più elevata migliora la prestazione energetica dell'involucro riducendo le perdite per trasmissione.

Riscaldamento passivo

Il guadagno termico attraverso le aperture trasparenti, combinato con la massa termica, produce un notevole effetto positivo, poiché la massa termica colpita dai raggi solari è in grado di assorbire la radiazione nelle ore diurne, accumulando e distribuendo il calore immagazzinato nelle ore notturne. Durante l'estate lo stesso apporto termico deve essere evitato attraverso l'uso di schermature o con un'efficace ventilazione. I sistemi a guadagno diretto sono particolarmente indicati negli interventi di recupero edilizio perché le dimensioni dei serramenti sono tali da non avere mai larghe superfici vetrate e gli elementi aggettanti in facciata creano zone d'ombra che contribuiscono a ridurre gli effetti negativi del sistema in estate. In assenza di queste condizioni, si deve provvedere con opportune schermature solari (cfr. sezione raffrescamento).

⁶⁴ Caterina G., *Tecnologia del recupero edilizio*, Torino, UTET, 1989.

⁶⁵ Di Battista V., *Come valutare i serramenti esterni*, «Recuperare», vol. 17, 1975, pp. 218–221.

Per la riduzione del consumo di energia negli edifici, sono di fondamentale importanza le tecniche atte a garantire giunti a tenuta d'aria tra i telai delle finestre e le pareti, in modo da evitare infiltrazioni o perdite di calore indesiderate per ventilazione.

La ventilazione incontrollata e le perdite di calore per infiltrazione causano un raffreddamento dell'aria e dei muri nell'area adiacente alla finestra. Dal punto di vista energetico e di comfort termico degli utenti, è quasi sempre auspicabile aumentare la tenuta all'aria, ma occorre anche garantire un ricambio d'aria minimo: valori troppo bassi delle infiltrazioni d'aria potrebbero comunque incidere sulla qualità dell'aria interna e sul comfort olfattivo, creare problemi di umidità con conseguente formazione di muffe e condensa e possibili danni per l'edificio, ed una possibilità di concentrazione di gas radioattivi (gas radon). La progettazione di un sistema di ventilazione meccanico o manuale, a seconda delle condizioni d'utilizzo, può aiutare a fornire un'adeguata qualità dell'aria interna.

Si può operare sulla prestazione energetica di un serramento esterno agendo su di esso secondo diversi gradi di invasività, reversibilità e compatibilità degli interventi⁶⁶, che possono essere sintetizzati come:

- sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica;
- sostituzione dei vetri con modelli isolanti o captanti (sostituzione nelle ante esistenti del vetro semplice con il vetro camera o di altro tipo altamente performante);
- messa in opera sul lato interno delle ante mobili di una seconda anta vetrata;
- messa in opera una seconda lastra di vetro sul lato interno dell'anta mobile con opportuni profili ferma-vetro;
- isolamento e tenuta all'aria del telaio;
- applicazione al vetro di pellicole speciali isolanti o captanti;
- uso di schermature (interne o esterne) come isolanti e per la tenuta all'aria.

*In.7. Sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica*⁶⁷

La misura prevede la sostituzione delle finestre esistenti con serramenti ad alta prestazione energetica. Ai fini dell'ottimizzazione energetica, è necessario progettare un sistema di vetratura e di telaio che bilancino le prestazioni d'isolamento termico, controllo solare e tenuta all'aria con le esigenze estetiche e di costo⁶⁸. Se il serramento è considerato elemento di pregio che contribuisce al valore dell'edificio, sarà necessario operare scelte meno incisive.

In.8. Sostituzione dei vetri con modelli isolanti o captanti su telaio esistente

La misura prevede la sostituzione del vetro esistente, di scarsa resistenza alla trasmissione del calore, con vetrazioni ad alta efficienza energetica, conservando il telaio originario, quando le caratteristiche tecniche o le scelte di carattere estetico-storico non consentono la sostituzione dell'intero serramento. La misura comporta anche la riduzione delle infiltrazioni d'aria che di manifestano tra il vetro e il telaio: per ottimizzare l'intervento è opportuno effettuare una sigillatura

⁶⁶ Tutti gli interventi diminuiscono le dispersioni di calore in maniera maggiore se si prevede un intervento d'isolamento delle nicchie per i termosifoni sottofinestra e dei cassonetti per gli avvolgibili, se presenti.

⁶⁷ Per quanto riguarda i telai, va detto che non sempre è opportuna la sostituzione del vecchio infisso in legno con uno di alluminio per la convenienza energetica. Infatti gli infissi di legno hanno una discreta resistenza termica, anche se le prestazioni rispetto ai telai in alluminio a taglio termico sono inferiori, principalmente a causa della deperibilità.

⁶⁸ Tucci F., *Involucro ben temperato: efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Firenze, Alinea, 2006.

dell'involucro (cfr. § 4.1.2). È di fondamentale importanza valutare la resistenza meccanica e lo stato di conservazione del telaio esistente per verificare la sua capacità di sostenere un nuovo vetro.

In.9. Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda anta vetrata

L'operazione consiste nell'inserimento di un secondo serramento con elevata efficienza di vetratura e telaio apribile o fisso, montato direttamente all'interno della finestra originale storica, che agisce in modo simile a un doppio vetro. Con questa misura l'aspetto esterno della parte anteriore dell'edificio non verrà modificato, anche se la qualità termica e l'isolamento acustico dell'edificio potranno essere migliorate. Se accuratamente progettato, il sistema può essere relativamente poco invasivo e removibile. L'intervento è indicato solo se non influenza il carattere dell'ambiente in cui è installato: ambienti interni di pregio possono essere compromessi dal montaggio di doppi vetri.

In.10. Messa in opera una seconda lastra di vetro sul lato interno dell'anta mobile con opportuni profili ferma-vetro

La misura prevede la messa in opera di un controvetro, fisso o apribile e removibile stagionalmente, nel vano murario esistente sul lato interno dell'anta mobile con opportuni profili ferma vetro. Questa operazione permette di ridurre le dispersioni termiche e le infiltrazioni d'aria dell'edificio quando le caratteristiche tecniche o le scelte di carattere estetico-storico non consentono la sostituzione del vetro (cfr. scheda In.8) o dell'intero serramento (cfr. scheda In.7). È in ogni modo un intervento che altera l'aspetto interno originario, anche se in maniera controllata.

In.11. Isolamento e tenuta all'aria del telaio

La misura prevede la sigillatura della giunzione tra vano finestra e telaio e l'inserimento di guarnizioni a tenuta all'aria tra telaio fisso e telaio mobile, per ridurre le dispersioni d'aria dall'edificio, migliorare il comfort termico e la qualità dell'aria interna. È un tipo di operazione che più delle altre consente di mantenere invariate le caratteristiche estetiche originarie del serramento. È dunque la più idonea per il restauro conservativo di edifici storici di valore storico-artistico in caso di vincolo sulle aperture, ma, se necessario, deve essere abbinata ad operazioni sulle vetrate attraverso la loro sostituzione (cfr. scheda In.8), l'applicazione di un controvetro (cfr. scheda In.9) o di pellicole trasparenti (cfr. scheda In.12).

In.12. Applicazione al vetro di pellicole speciali isolanti o captanti

La misura prevede l'inserimento di pellicole basso-emissive per migliorare la resistenza termica del vetro e diminuire le dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro trasparente. È un tipo di operazione che consente di mantenere invariate le caratteristiche estetiche originarie del serramento, poiché la pellicola è trasparente. È idonea per un restauro conservativo di edifici storici di valore storico-artistico, ma, se necessario, deve essere abbinata ad operazioni di tenuta all'aria del telaio (cfr. scheda In.11).

Uso di schermature (interne o esterne) come isolanti e per la tenuta all'aria

In casi limite, in cui gli infissi sono elemento di pregio e quindi vincolati, e non sia possibile alcun intervento che ne modifichi l'aspetto e la consistenza, sarà auspicabile il recupero o l'integrazione di persiane esterne e/o interne per minimizzare la perdita di calore durante la notte e nelle ore in cui le camere sono inutilizzate, oltre a ridurre il guadagno solare indesiderato. Gli oscuranti interni possono anche essere a prova d'aria per migliorare le prestazioni termiche. I mezzi tradizionali per ridurre al minimo la perdita di calore, come ad esempio tende pesanti, sono ancora efficaci; alternative moderne includono tende isolanti e persiane interne riflettenti e/o isolanti.

Raffrescamento passivo

Le chiusure verticali trasparenti danno un contributo consistente anche per quanto riguarda il raffrescamento passivo dell'edificio, permettendo una riduzione del carico termico estivo attraverso l'apporto energetico gratuito proveniente dal controllo della ventilazione naturale e dell'umidità relativa, operando una riduzione di dispositivi meccanici per il condizionamento, con una conseguente diminuzione dell'energia utilizzata. Le strategie per il raffrescamento passivo comprendono la protezione dell'edificio dai guadagni solari (cfr. § 4.1.8), la riduzione delle infiltrazioni di aria calda attraverso il miglioramento della tenuta all'aria dei telai e l'attivazione di sistemi naturali per aumentare la dispersione di carichi termici dovuti agli apporti esterni o al contributo delle fonti interne di calore (persone, elettrodomestici, apparecchi elettrici), attraverso la ventilazione manuale o meccanica, naturale o ibrida.

La ventilazione naturale può essere utilizzata sia per assicurare i necessari ricambi d'aria ambiente, sia come mezzo per climatizzare gli ambienti nel periodo estivo. Le principali tecniche di raffrescamento con ventilazione naturale diurna e notturna vengono realizzate facendo circolare aria con temperatura più bassa nell'ambiente da raffrescare. La distribuzione dell'energia per ventilazione avviene attraverso modalità di scambio termico provocati da differenze di temperatura (convezione, conduzione e irraggiamento) e/o flussi di calore per differenza di pressione del vento: l'andamento dei venti e i gradienti termici causano zone di sovrappressione e depressione che generano l'immissione e l'estrazione di aria attraverso un ambiente confinato. Essa può avvenire in modo non controllato attraverso porte, finestre e cassonetti o può essere favorita o inibita in funzione di precise scelte progettuali relative alla tipologia dell'edificio e alla disposizione di infissi, condotti, camini, punti di immissione ed emissione. La quantità di aria immessa è da interrelare con la permeabilità all'aria degli infissi o all'apertura volontaria (manuale o meccanizzata) di porte, finestre, condotti, bocche di presa, ecc. Per ottenere in un ambiente un flusso d'aria significativo per il raffrescamento, è necessario che vi siano almeno due chiusure permeabili o "attive" per innescare il differenziale di pressione necessario a generare il moto d'aria. In base alla forza motrice, la ventilazione naturale controllata si distingue in:

- passante orizzontale: le aperture si trovano su pareti opposte, alla stessa altezza; la portata dipende dall'area netta delle finestre, dall'angolo d'incidenza e dalla differenza di pressione;
- passante da gradiente termico: con due o più aperture su pareti opposte a diverse altezze, il flusso ascendente (effetto camino) o discendente (effetto caduta d'aria) è funzione della collocazione delle aperture e della relazione tra livelli di temperatura dell'aria esterna e interna;
- passante combinata, generata da entrambi i meccanismi sopra descritti.

Il flusso d'aria che attraversa una chiusura è direttamente proporzionale all'area della porzione aperta della chiusura stessa, mentre il rapporto tra l'area aperta della chiusura d'ingresso del flusso e quella della chiusura d'uscita influisce sul differenziale di pressione interna e, quindi, sulla velocità del flusso⁶⁹. In considerazione del mutamento delle modalità di occupazione degli spazi e/o delle modalità specifiche di raffrescamento convettivo della massa muraria (cfr. § 4.1.4) possono variare i requisiti di portata e velocità dell'aria di un ambiente. Di conseguenza, si raccomanda di prevedere tipi di chiusura con il massimo grado di variabilità e controllabilità dell'aria di apertura. La strategia di raffrescamento da adottare dipende anche dalle condizioni microclimatiche: se il calore dipende

⁶⁹ Grosso M., Raimondo L., *op.cit.*

soprattutto dai guadagni interni è possibile aumentare la ventilazione naturale diurna; se l'escursione termica tra giorno e notte è elevata, è possibile utilizzare il raffrescamento ventilativo notturno o ottimizzare il principio dello smorzamento e dello sfasamento termico in edifici caratterizzati da un'elevata inerzia termica, poiché l'aria fresca entrante nel periodo notturno sottrae parte del calore accumulato durante il giorno dall'edificio.

Condizioni naturali sfavorevoli o una non corretta progettazione del posizionamento delle aperture su cui il valore dell'edificio non permette di intervenire, possono generare situazioni di aria interna stagnante compromessa sia in qualità che in temperatura causata dalla scarsa velocità del flusso d'aria in entrata o in uscita. In questi casi la ventilazione naturale controllata può essere integrata con sistemi di ventilazione ibridata che permettono di movimentare l'aria in modo artificiale. Gli elementi di ventilazione meccanica possono essere posizionati nelle aperture esistenti, finestre o bocchette di ventilazione.

Per un'adeguata progettazione del sistema di ventilazione naturale dell'edificio è opportuno prestare attenzione al posizionamento delle aperture orizzontale o verticali (o dell'attivazione delle aperture esistenti), all'area e al tipo di apertura, all'eventuale presenza di schermature e, infine, alla direzione di incidenza del vento sull'edificio, in funzione dei quali si innescano diversi moti d'aria. Alle strategie di raffrescamento sugli elementi tecnici sarebbe necessario affiancare considerazioni sulla distribuzione delle unità ambientali e delle attività da svolgersi, sia riguardo agli aspetti di controllo termico che di ventilazione naturale microclimatica.

In.13 Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento

In condizioni d'utilizzo che non permettono l'attivazione manuale del sistema di ventilazione progettato (edificio pubblico, posizione non accessibile dei serramenti, necessità di ventilazione notturna, ecc..) sarà necessario operare una meccanizzazione del serramento.

Messa in opera di telai con micro-ventilazione interna

Un tipo di intervento operabile sul serramento con la sostituzione del telaio con un tipo dotato di microventilazione interna controllata dall'utente, garantendo i ricambi d'aria necessari per mantenere il comfort ed evitare formazioni di muffa nell'ambiente interno.

Illuminazione naturale

Una progettazione adeguata dei serramenti permette di massimizzare e diffondere l'illuminazione diurna all'interno di un edificio per ridurre la domanda d'illuminazione artificiale e contemporaneamente minimizzare i fenomeni di abbagliamento, collaborando inoltre con le strategie di riscaldamento e raffrescamento naturale. Le misure che contribuiscono a potenziare l'illuminazione naturale si centrano sostanzialmente sulla posizione e la dimensione delle finestre e sulla conformazione degli ambienti. Negli edifici il cui valore non permette di alterare queste caratteristiche, è comunque possibile operare le scelte distributive delle nuove funzioni che in considerazione delle prestazioni di illuminazione naturale degli elementi spaziali disponibili. Inoltre, è possibile integrare dispositivi alle chiusure trasparenti per regolare l'illuminazione in entrata (cfr. § 4.1.8).

4.1.6 Chiusure orizzontali inferiori

Le chiusure opache inferiori degli edifici storici permettono il controllo degli scambi termici con il suolo, che è sottoposto a minori fluttuazioni termiche rispetto all'ambiente esterno. Per ottimizzare il riscaldamento invernale, è possibile limitare le dispersioni attraverso l'adozione di uno strato isolante; d'estate, è possibile dissipare il calore in eccesso attraverso il raffrescamento radiativo

verso il terreno. Inoltre, le chiusure inferiori devono garantire la tenuta alle infiltrazioni d'acqua che possono derivare dalla risalita capillare di umidità dal terreno; è buona norma prevedere la posa di uno strato impermeabile sotto il materiale isolante ed eventualmente, qualora sia compatibile con il comportamento igrometrico dell'involucro, di una barriera al vapore verso l'interno del locale per evitare la condensa superficiale.

Riscaldamento passivo

Analogamente alle chiusure verticali e a quelle orizzontali superiori, il miglioramento delle condizioni termoigrometriche invernali può essere ottenuto potenziando le capacità coibenti dell'involucro. Qualora le caratteristiche costruttive del solaio a contatto con il terreno non garantissero valori accettabili di trasmittanza, è possibile integrare i componenti esistenti con uno strato isolante specifico. Rispetto alle altre tipologie di chiusure gli interventi sull'attacco a terra sono limitati dalla necessità di agire dall'interno dell'edificio, non essendo possibile alterare le fondazioni o la stratigrafia del terreno. Per questa ragione, in base alla presenza o meno di locali interrati non riscaldati, l'isolamento delle chiusure inferiori può prevedere una delle seguenti modalità:

- strato isolante all'estradosso del solaio sopra locali non riscaldati interrati;
- strato isolante all'intradosso del solaio su terreno.

In entrambe le soluzioni, sia per l'ambiente interrato che per l'ambiente riscaldato a ridosso del terreno è necessario verificare il rispetto del volume utile minimo e delle altezze di normativa, che possono venir ridotte dall'introduzione di un nuovo strato di coibentazione. Per risolvere il problema, può essere utile prevedere l'impiego di materiali con spessori molto ridotti, come gli isolanti termoriflettenti (cfr. scheda M.1) o sottovuoto (cfr. scheda M.2), purché siano compatibili con il comportamento igrometrico dell'involucro.

In.14. Isolamento all'estradosso del solaio in corrispondenza di locali non riscaldati

Se il solaio inferiore dell'edificio comunica con un ambiente non riscaldato interrato, è possibile realizzare uno strato continuo di isolante nella superficie di estradosso, in maniera parallela all'isolamento a cappotto (cfr. scheda In.4), migliorando la coibenza termica dell'involucro e limitando le discontinuità di forma. Il volume d'aria interrato, inoltre, soprattutto se dotato di aperture verso l'esterno, può essere considerato un'intercapedine ventilata che permette di evitare la formazione di condensa e, durante la stagione estiva, facilitare la formazione di moti convettivi che, dissipando il calore delle strutture, contribuiscono al raffrescamento passivo degli ambienti. Qualora non sia perseguibile un isolamento con pannelli isolanti, è possibile ottenere medi risultati di coibentazione applicando sulla superficie di estradosso un intonaco termoisolante, con modalità in tutto simili all'applicazione dell'intonaco termoisolante su chiusure verticali (cfr. scheda In.5).

In.15. Isolamento all'intradosso del solaio sul terreno

Nel caso di un solaio posto a diretto contatto con il terreno, l'isolamento può essere realizzato solo nella superficie interna del solaio, con modalità in tutto simili all'isolamento interno delle chiusure verticali (cfr. scheda In.6). Tale intervento permette di ridurre lo scambio termico con il terreno, senza eliminare i ponti termici. Per contrastare la risalita capillare di umidità, è buona norma prevedere un'impermeabilizzazione sotto l'isolante ed eventualmente una barriera al vapore verso l'interno del locale per evitare la formazione di condensa superficiale. Nel caso l'ambiente a contatto con il terreno sia abitato, il materiale isolante deve essere calpestabile e dotato di una buona resistenza meccanica; inoltre, è necessario prevedere una finitura superficiale o una pavimentazione su uno strato di massetto di allettamento.

Raffrescamento passivo

Attraverso le chiusure orizzontali inferiori è possibile innescare una modalità di raffrescamento radiativo, analoga al raffrescamento radiativo delle chiusure orizzontali superiori (cfr. § 4.1.3), che sfrutta come pozzo termico a temperatura inferiore il terreno: quest'ultimo, infatti, ad una sufficiente profondità (oltre i 5 ml), possiede una temperatura pressoché costante per tutto l'anno che tende alla media annua della temperatura dell'aria esterna, quindi più alta durante l'inverno e più bassa durante l'estate. L'estensione della superficie di contatto con il terreno influenza l'inerzia termica dell'edificio, il cui involucro murario diventa solidale con il terreno e ne condivide le caratteristiche di elevata capacità termica. Analogamente alle chiusure superiori, i sistemi di scambio radiativo geotermico possono essere di tipo diretto o indiretto; in più, la caratteristica del terreno di smorzare le oscillazioni termiche esterne fa sì che tali sistemi possano essere utilizzati anche per ottimizzare il riscaldamento invernale.

I sistemi di scambio diretto prevedono l'assorbimento del calore in eccesso degli ambienti soprastanti da parte della massa termica delle chiusure inferiori e la successiva dissipazione di tale calore verso il terreno. Tale modello può essere adottato soltanto nel caso in cui non si preveda uno strato isolante; la sua potenzialità di raffrescamento dipende principalmente dall'estensione della superficie di contatto, per cui è più efficace per ambienti interrati o edifici ipogei e semipogei.

Maggiormente versatili sono i sistemi ibridi di scambio termico indiretto con il terreno, nei quali il trasferimento di calore avviene tramite un fluido vettore (generalmente, aria), che circola in condutture interrate, raffreddandosi prima di entrare in contatto con gli ambienti. A seconda delle necessità di raffrescamento e delle possibilità di intervento, tali sistemi possono avere due modalità di circolazione del fluido: a ciclo aperto, che prevede l'immissione dell'aria esterna, raffrescata tramite il passaggio in terreno, all'interno dell'edificio, in modo da garantire la ventilazione; a ciclo chiuso, che prevede il raffrescamento dell'aria interna tramite condotte interrate, ma non soddisfa le esigenze di ricambio dell'aria. I sistemi indiretti consentono di raffrescare o riscaldare ambienti posti anche ad una certa distanza dal terreno; nondimeno, la complessità di messa in opera di nuovi impianti e condutture su edifici esistenti rende indispensabile valutare la reversibilità e compatibilità dei sistemi nei confronti delle fabbriche dotate di spiccato carattere storico-artistico.

4.1.7. Bonifica dall'umidità

Tutti i materiali da costruzione sono soggetti al degrado dovuto all'esposizione agli agenti atmosferici e all'uso; in particolare, un'azione di notevole impatto è quella causata dal deposito di umidità nelle murature e negli ambienti, che si manifesta attraverso macchie, muffe, distacco o esfoliazione degli intonaci e dei rivestimenti, degradazione di malte e mattoni con relativo sgretolamento da reazioni chimiche, efflorescenze: segnali che possono indicare fenomeni di più vasta portata, come il deterioramento delle strutture o la putrefazione delle coperture lignee. Le cause dell'umidità sono variabili e tendono a sovrapporsi, il che ne rende difficile l'individuazione; le principali vengono suddivise in continue o episodiche.

La più importante formazione di umidità che si manifesta lungo tutto il corso dell'anno è l'umidità da risalita capillare o ascendente, derivante dal sottosuolo e attratta dalle murature per capillarità o per elettro-osmosi. Il fenomeno si manifesta per la presenza di eventuali falde freatiche o di ristagni di acqua piovana o di perdite di reti idriche, ma anche a causa della mancata o inadeguata impermeabilizzazione delle opere murarie; normalmente, si limita ai piani interrati o ai primi piani fuori terra, privilegiando i punti di unione tra pareti e solai. Inoltre, esso è legato alla porosità dei materiali da costruzione, ovvero alla loro predisposizione ad assorbire l'acqua che si sposta al loro

interno, trascinando con sé sali idrosolubili che si cristallizzano quando la stessa raggiunge la superficie ed evapora. Questi sali, oltre a formare macchie ed efflorescenze in facciata, essendo solubili in acqua variano il loro volume in funzione della maggiore o minore umidità ambientale, causando sfarinamento e sgretolamento di intonaci e pitture, fino al danneggiamento di laterizi e pietre nei casi più gravi.

Le cause episodiche di umidità, che possono generarsi solo in alcuni periodi dell'anno o essere dovute a incuria o errori costruttivi, sono così classificate⁷⁰:

- umidità da condensazione: è l'umidità da vapore acqueo che, d'inverno, a contatto con superfici fredde può condensare sulle pareti o i solai, formando macchie o aloni, oppure sotto i pavimenti, causandone il distacco;
- umidità da costruzione: si verifica nella struttura durante e immediatamente dopo i lavori di costruzione o ristrutturazione, per presenza di acqua nella preparazione a umido dei materiali edili e alla sua evaporazione durante le fasi di consolidamento;
- umidità accidentale: è l'umidità derivante da cause impreviste come rottura di fognature, condotti pluviali, serbatoi d'acqua, impianti di adduzione e scarico, ecc.;
- umidità meteorica o da infiltrazione: è causata dalla pioggia non adeguatamente trattenuta dalla copertura e controllata da efficienti sistemi di smaltimento delle acque meteoriche che penetra in diversa misura nelle murature.

La maggior parte delle cause episodiche può essere sanata intervenendo sulla fonte dell'umidità: eliminando i danni accidentali che hanno provocato ristagni d'acqua, migliorando il sistema di raccolta e convogliamento delle acque meteoriche, isolando adeguatamente le pareti per prevenire la formazione di ponti termici (cfr. § 4.1.3). Nel caso dell'umidità ascendente, invece, a seconda delle caratteristiche tecnologiche e del grado di deterioramento delle strutture interessate, la bonifica si basa su tre strategie complementari:

- sistemi passivi di allontanamento dell'acqua dalle murature;
- sistemi attivi di sbarramento fisico, chimico, nei confronti del passaggio dell'acqua all'interno delle murature;
- sistemi di evacuazione dell'acqua contenuta nelle murature.

I sistemi passivi prevedono la diminuzione dell'area di contatto tra struttura e terreno, accompagnata dal convogliamento e dalla rimozione, qualora possibile, delle acque superficiali presenti all'intorno dell'edificio. Gli interventi, che agiscono sulla facciata e la volumetria sia interna che esterna del manufatto, vengono attuati principalmente tramite drenaggi, intercapedini e impermeabilizzazione di muri, spesso abbinati a sistemi di ventilazione naturale o forzata; essi sono di solito piuttosto invasivi, in quanto prevedono scavi in corrispondenza delle pareti controterra che possono alterare le caratteristiche statico-costruttive dell'edificio e del suo intorno: ciò li rende applicabili solo nel caso non arrechino danno alle strutture o si integrino con il sistema tecnologico esistente. Dato che il contatto tra muratura e terreno viene ridotto fisicamente, ma non eliminato, l'efficacia del sistema dipende dalle capacità assorbenti della muratura: se l'acqua di risalita è limitata e la muratura altamente traspirante (come nella maggior parte degli edifici storici), è possibile diminuire fortemente la risalita capillare, dissipando per evaporazione l'acqua restante, senza alterare il comportamento termoigrometrico della struttura.

⁷⁰ Aghemo C. et al., *L'umidità nelle murature: una metodologia di indagine*, «Recuperare. Progetti. Cantieri. Tecnologie. Prodotti», vol. 7, 1991, pp. 574–579.

Il principio alla base dei sistemi attivi si propone di bloccare la risalita capillare dell'umidità attraverso la realizzazione di una barriera nella muratura utilizzando lastre anticapillari, oppure iniettando formulati chimici alla base della parete.

In.16. Realizzazione di barriere fisiche alla risalita capillare

La bonifica della muratura tramite barriere fisiche consiste nella realizzazione di tagli orizzontali per brevi tratti di muratura, in cui vengono applicate membrane impermeabili di materiale plastico, metallico o cementizio; è piuttosto invasivo e può provocare assestamenti, ma garantisce il prosciugamento nella parte superiore della membrana (anche se la parte inferiore resta umida).

In.17. Realizzazione di barriere chimiche alla risalita capillare

Il metodo dello sbarramento chimico consiste nell'iniezione di formulati liquidi all'interno della muratura da risanare, che vengono assorbiti per capillarità e polimerizzano, costituendo una barriera all'interno della parete, senza l'inconveniente traumatico del taglio dell'involucro perimetrale dell'edificio⁷¹. I principali inconvenienti sono l'irreversibilità e la durata limitata nel tempo, e una conseguente manutenzione onerosa.

In.18. Realizzazione di sistemi di evacuazione dell'umidità

I sistemi di evacuazione, pur non impedendo all'acqua di entrare nella parete, ne favoriscono la fuoriuscita, aumentando fisicamente la capacità di evaporazione della parete con l'uso di intonaci macroporosi, oppure impiegando l'elettro-osmosi per invertire la tendenza alla risalita capillare facendo smaltire l'acqua verso il basso. Gli intonaci macroporosi hanno un effetto piuttosto ridotto, per cui vengono utilizzati in presenza di quantità limitate di umidità: la loro efficacia è potenziata nel caso di materiali di involucro molto traspiranti, ma viene completamente annullata con l'impiego di strati di isolamento a bassa permeabilità al vapore. L'elettro-osmosi si propone di invertire il processo osmotico per cui le molecole d'acqua sono attratte dalle superfici polarizzate idrofile della muratura, spostando il polo di attrazione dell'acqua verso il terreno e facendola defluire dall'edificio. L'elettro-osmosi può essere di tipo passivo o attivo. L'elettro-osmosi passiva sfrutta il campo elettrico naturale tra muratura umida all'attacco a terra e muratura asciutta in alto: inserendo materiali conduttori (solitamente, barre metalliche) nella parete, questi subiscono un'induzione elettrostatica e generano un proprio campo elettrico, spingendo l'acqua della muratura in direzione del terreno; ha bassi costi di manutenzione ed è poco invasiva, ma la sua efficacia è molto difficile da controllare. L'elettro-osmosi attiva consiste nell'applicazione di un flusso costante di corrente continua a basso voltaggio, oppure nell'emissione di un debole campo magnetico, in modo da attrarre l'acqua ed i sali nel sottosuolo, impedendo la risalita dell'acqua nella muratura; è un metodo molto efficace, per nulla invasivo, molto adatto alla riqualificazione di edifici di elevato valore storico-artistico, ma caratterizzato da costi di gestione elevati e da un consumo di energia costante.

4.1.8. Controllo dell'irraggiamento solare

La radiazione solare opera un duplice contributo negli scambi di energia che coinvolgono i componenti di involucro esterno trasparenti e opachi dell'edificio: il contributo di energia termica e quello di energia luminosa. Di conseguenza, le scelte relative al controllo solare fanno riferimento ad un complesso quadro di esigenze per garantire il comfort psicofisico degli utenti in base alle

⁷¹ Vignali F., *Il risanamento da umidità ascendente con resine siliconiche*, in: *Umidità. Tecniche e prodotti per il risanamento*, Firenze, Alinea, 1988, pp. 133–136.

attività svolte: si devono conciliare le esigenze stagionali di riscaldamento o raffrescamento con quelle costanti di illuminazione naturale, per raggiungere condizioni di comfort termico e visivo.

Abbiamo già parlato degli effetti della radiazione solare sulle superfici trasparenti ed opache ai fini del riscaldamento dell'edificio, e nell'ottica del raffrescamento, in aggiunta agli apporti ventilativi (cfr. § 4.1.5), esiste una serie di espedienti progettuali di tipo preventivo, finalizzati a ridurre gli apporti termici esterni prima che investano l'edificio attraverso il controllo della radiazione solare incidente escludendola o riducendola (in modo permanente o temporaneo) laddove non desiderata, attraverso un'idonea configurazione delle chiusure esterne trasparenti (componenti trasparenti), dei relativi sistemi di oscuramento (schermature), e della copertura (componenti opache). Nella progettazione dei serramenti e di elementi schermanti inoltre è importante tenere in considerazione la visione interno/esterno da parte degli utenti che ne influenza il comfort psico-percettivo .

Un aspetto importante per il benessere psicofisico è la qualità dell'illuminazione degli ambienti, sia essa ottenuta con illuminazione naturale o artificiale. È necessaria una progettazione adeguata degli ambienti perché l'illuminazione diurna massimizzi l'uso e la distribuzione dell'illuminazione naturale diffusa all'interno di un edificio per ridurre la domanda d'illuminazione artificiale. È inoltre importante operare un controllo della distribuzione dei livelli di illuminamento, limitando i fenomeni di abbagliamento⁷², in collaborazione con le strategie di ombreggiamento per il raffrescamento naturale. Le misure che contribuiscono a potenziare l'illuminazione naturale si centrano sostanzialmente sulla posizione e la dimensione delle finestre e sulla conformazione degli ambienti, ma negli edifici il cui valore non permette di alterare queste caratteristiche, è comunque possibile operare sulle scelte distributive delle nuove funzioni che prendano in considerazione le prestazioni di illuminazione naturale degli elementi spaziali disponibili, dal momento che il livello di luce richiesta dipende dall'attività svolta.

Chiusure opache

Il controllo degli apporti solari sulle superfici opache risulta necessario ai fini della riduzione del carico termico estivo. In particolare, ai nostri climi, esso deve essere previsto per le chiusure superiori (coperture inclinate o piane) rispetto a quelle verticali, causa della maggiore incidenza della radiazione solare nei periodi caldi. Come già a proposito della finitura delle coperture (cfr. § 4.1.3.), le caratteristiche radiative dei materiali incidono sulla quota di radiazione solare che viene assorbita dalle strutture urbane e che contribuisce a innalzare la loro temperatura superficiale e, di conseguenza, a incrementare la loro emissione di calore per irraggiamento. Per ridurre tale assorbimento, è possibile prevedere l'impiego di materiali con elevata albedo, che mitigano i carichi termici all'intorno dell'edificio e favoriscono la dispersione di calore per ventilazione o irraggiamento. Anche nel caso delle pavimentazioni, sono in fase di utilizzo e di sperimentazione in opera alcuni materiali denominati *cool pavements*, che posseggono un valore molto alto dell'albedo anche a fronte di colorazioni e trattamenti superficiali variabili. A differenza delle coperture, non esiste ancora uno standard riconosciuto per questi prodotti, a causa delle condizioni complesse a cui sono sottoposti in termini di modalità d'uso, usura, condizioni di ventilazione⁷³; nondimeno, essi

⁷² L'abbagliamento è il contrasto eccessivo tra i livelli di illuminamento di due superfici, che causa discomfort e stanchezza visiva.

⁷³ United States Environment Protection Agency, *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements*, 2005

stanno dimostrando buone prestazioni termiche ai test⁷⁴, per cui si prevede un aumento costante del loro utilizzo.

BILANCIO DELL'ENERGIA SOLARE CHE INCIDE SU UNA LASTRA DI VETRO

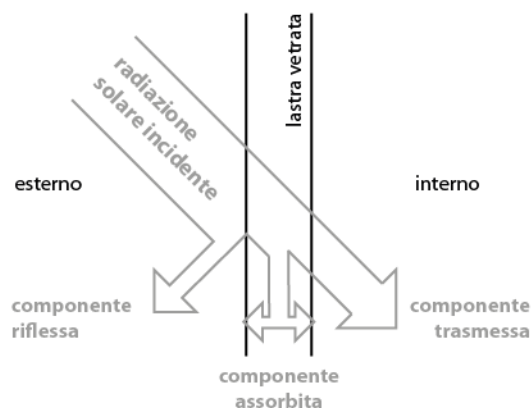


Fig. 5 - Distribuzione della radiazione solare su una lastra vetrata.

Chiusure trasparenti

Gli effetti della radiazione solare sulle chiusure trasparenti sono evidenti: i problemi relativi al comfort e ai consumi energetici per il raffrescamento sono rilevanti, ma nel contempo sono anche consistenti gli apporti gratuiti che si possono sfruttare durante il periodo invernale. La funzione di controllo solare attraverso le chiusure esterne trasparenti interessa la quantità di radiazione solare incidente nelle sue componenti di quota trasmessa, assorbita e riflessa dalle superfici all'interno (fig. 5). Nel progetto di riqualificazione i parametri su cui intervenire, classificati in ordine di incidenza sull'aspetto dell'edificio esistente, riguardano: la geometria dell'involucro, le dimensioni, l'inclinazione e l'orientamento, la collocazione in pianta e sezione rispetto all'ambiente interno; le proprietà termofisiche e ottico/solari delle chiusure trasparenti, trasparenza alla radiazione solare e luminosa anche in relazione all'impatto visivo e all'integrazione architettonica, la resistenza termica del serramento e le proprietà di accumulo delle superfici interne; l'utilizzo di schermi, tipologia e caratteristiche delle schermature anche in relazione all'impatto visivo e all'integrazione architettonica. Verranno analizzate in particolare le caratteristiche del serramento e degli schermi, immaginando di non poter intervenire sul dimensionamento delle aperture, eccetto in casi di ricostruzione totale di una parte di edificio.

Controllo dell'illuminazione naturale

Oltre a possibili interventi sul colore degli interni (cfr. § 4.1.4) sarà possibile integrare dispositivi alle chiusure trasparenti per regolare l'illuminazione in entrata, come *lightshelf*, *Skylight* e *lighttube*, ma anche vetri speciali che bilanciano l'ingresso di radiazione luminosa e di radiazione termica (cfr. § 4.1.8).

⁷⁴ Santamouris M. et al., *Passive cooling of the built environment: Use of innovative reflective materials to fight heat islands and decrease cooling needs*, «International Journal of Low-Carbon Technologies», vol. 3, 2008, pp. 71–82.

Intervento sulle proprietà termofisiche e ottico-solari delle chiusure trasparenti

La misura prevede la sostituzione del vetro (cfr. scheda In.8) o l'intero serramento (cfr. scheda In.7) con sistemi ad alto controllo della radiazione solare nelle sue componenti di fattore solare, fattore di trasmissione luminosa e resistenza termica⁷⁵. Nella scelta del componente occorre tenere presente che per ottimizzare il livello di illuminazione di un ambiente è preferibile un elevato valore di trasparenza, quindi di trasmissione luminosa, mentre per il controllo solare è preferibile un basso valore di fattore solare, su cui influisce anche il fattore di trasmissione luminosa, ed insieme va presa in considerazione la resistenza termica che ha ricadute dirette sul calcolo della dispersione termica per trasmissione. L'innovazione tecnologica ha permesso di bilanciare efficientemente questi tre fattori in elementi ad alte prestazioni in grado di selezionare la radiazione solare entrante a seconda delle lunghezze d'onda (visivo – infrarosso) (cfr. scheda M.5) o dell'inclinazione dei raggi (permeabilità ai raggi invernali, ostruzione dei raggi estivi) (cfr. scheda M.7) o addirittura di sfruttare la radiazione schermata per una produzione attiva di energia elettrica (cfr. scheda M.8)⁷⁶.

Installazione di sistemi a diffusione luminosa

L'inserimento di filtri di diffusione luminosa consente di diffondere la luce all'interno del locale riducendo i contrasti di luminanza, i problemi di abbagliamento visivo e di surriscaldamento delle superfici, mantenendo buone condizioni di comfort visivo anche in assenza di illuminazione artificiale.

Inserimento di tende

Inserimento di tende interne o esterne al locale per rendere uniforme la distribuzione del livello di illuminamento e della luminanza del locale. Possono essere montate sul lato rivolto verso l'interno, all'esterno o nell'intercapedine del serramento.

In.23. Installazione di una mensola di luce (lightshelf)

La misura prevede l'inserimento di una mensola di luce per schermare e contemporaneamente indirizzare la radiazione solare e illuminare in profondità l'ambiente interno, evitando fenomeni di surriscaldamento e abbagliamento.

In.25. Installazione di un camino di luce (corelighting / lightpipe / suntube)

La misura prevede l'inserimento di condotti per trasportare l'illuminazione naturale in maniera indiretta all'interno dell'edificio in casi in cui ambienti interni o ipogei presentino una scarsa illuminazione proveniente dalle chiusure trasparenti.

⁷⁵ Fattore solare: è una grandezza che esprime la caratteristica di permeabilità di un componente trasparente rispetto alla radiazione solare. Rappresenta la frazione di energia solare trasmessa in ambiente rispetto a quella totale incidente (vetro chiaro semplice spessore 4mm: FS= 0,85). Si indica con le sigle *g* o FS e il valore, desumibile dalle schede tecniche del componente, è compreso tra 0 e 1. Fattore di trasmissione luminosa: è una grandezza definita in modo analogo al fattore solare, ma si riferisce solamente all'intervallo del visibile rispetto all'intero spettro della radiazione (vetro chiaro semplice spessore 4mm: TL=0,9). Si indica con la sigla FL o TL ed il valore, desumibile dalle schede tecniche del componente, è compreso tra 0 e 1. Resistenza termica: è un valore che influisce direttamente sul carico di dispersione termica per trasmissione. I componenti vetrati sono da sempre tra gli elementi più vulnerabili del sistema edificio (vetro chiaro semplice spessore 4mm: U = 5,8) ma la ricerca tecnologica permette oggi di mettere in opera elementi con valori molto bassi, in alcuni casi assimilabili a quelli delle pareti opache. Si indica con la sigla U (W/m²K) ed è desumibile dalle schede tecniche del componente.

⁷⁶ Schittich C., Staib G., *Atlante del vetro*, UTET, 1999.

Schermature solari

Le schermature hanno un ruolo importante nell'ambito del controllo solare. Uno schermo si può definire come «qualsiasi elemento, facente parte della chiusura esterna trasparente o del suo intorno, atto ad impedire in modo parziale o totale, fisso o variabile, l'ingresso della radiazione solare nell'ambiente interno su cui affaccia la chiusura stessa⁷⁷».

L'efficacia di un sistema di schermatura dipende dalla quota di radiazione che intercetta rispetto a quella totale incidente e dalla riemissione nell'infrarosso del calore assorbito dagli elementi che compongono lo schermo (cfr. § 4.1.3 per i parametri di assorbimento). Una progettazione attenta di un sistema schermante deve partire dall'analisi del soleggiamento del sito di progetto e dalla determinazione del periodo di schermatura: infatti, se progettate in rapporto al percorso stagionale del sole, le schermature possono offrire un'efficace protezione estiva senza compromettere i guadagni termici invernali contribuendo a garantire condizioni di comfort. A questo scopo devono essere presi in considerazione fattori quali: la latitudine del sito e quindi l'inclinazione dei raggi solari; l'orientamento della superficie da proteggere; la posizione nella quale si prevede di collocare la schermatura stessa.

Le schermature possono distinguersi in artificiali e naturali, integrate all'edificio o posizionate al suo intorno.

Le schermature naturali integrate si sintetizzano nei sistemi di piante rampicanti integrate all'edificio. Negli edifici storici si sconsiglia di ricorrere a questo tipo di schermatura poiché può provocare danni agli intonaci e alle strutture a causa dell'impianto esteso delle radici, a meno che il sistema non sia già presente e consolidato.

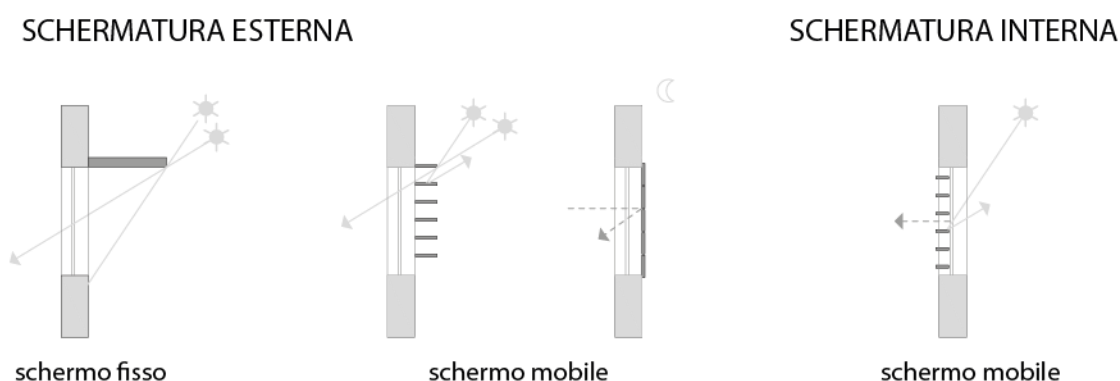


Fig. 6 - Le tipologie principali di schermatura.

Le schermature artificiali integrate all'edificio possono influire in larga misura sulle modificazioni dell'aspetto originale del manufatto edilizio a seconda delle loro caratteristiche. È necessario valutare parallelamente il grado di integrazione funzionale, ovvero la capacità di assolvere alla funzione cui è preposto, ed estetica nel grado di compatibilità materica e formale dei caratteri di facciata. I sistemi di schermatura possono essere più o meno visibili o determinare l'aspetto architettonico delle facciate, e questo influenzerà il loro rendimento nel controllo della radiazione solare. Dal punto di vista funzionale possono essere classificate secondo le necessità di controllo dello spettro solare; la geometria in funzione del tipo di esposizione (Sud oppure Est/Ovest) e delle

⁷⁷ Grosso M., Raimondo L., *op.cit.*, pp. 281–326.

esigenze di comfort visivo; la posizione rispetto al componente trasparente; la gestione operativa e la flessibilità alle esigenze stagionali; il tipo di mobilità; il materiale e finitura; il sistema di fissaggio. Dal punto di vista tipologico, si analizzano gli schermi maggiormente utilizzati (fig.6) in relazione alla posizione rispetto al componente trasparente⁷⁸.

Installazione di vetri a controllo solare – inserimento di schermature nell’intercapedine

I vetri a controllo solare sono dei dispositivi che integrano sistemi schermanti nell’intercapedine dei doppi o tripli vetri. La misura prevede la sostituzione del vetro (cfr. scheda In.8) o dell’intero serramento (cfr. scheda In.7) a seconda delle caratteristiche del vetro. I sistemi schermanti possono essere tecnologie semplici (tende a superficie piana o plissettata e tende alla veneziana) o altamente performanti a selezione angolare (cfr. scheda M.7) o cromogenici (cfr. scheda M.9)

In.19. Installazione di pellicole a controllo solare

La misura prevede l’inserimento di pellicole a controllo solare per ridurre il guadagno termico quando non è possibile operare sostituzioni di vetri e/o telai di pregio, a condizione che le condizioni generali del serramento siano in buono stato.

In.20. Installazione di schermi interni

Gli schermi interni consentono una più efficace mimesi con l’organismo edilizio mantenendo un ottimo controllo della radiazione luminosa in entrata, ma, permettendo l’ingresso nell’ambiente del calore, hanno minore capacità di controllo del comfort termico estivo. L’installazione di schermature interne è una soluzione poco costosa, che garantisce la protezione dei dispositivi dalle intemperie facendo sì che necessitino di poca manutenzione. Le schermature possono essere a superficie piana o a doghe orizzontali o verticali (a seconda dell’esposizione: orizzontali a Sud, verticali a Est ed Ovest), eventualmente orientabili e con gradi variabili di assorbimento termico.

In.21. Installazione di schermi esterni

Gli schermi esterni sono più efficaci nel bloccare la componente luminosa e infrarossa della radiazione solare, tuttavia potrebbero avere un minore grado di compatibilità con l’edificio. Sono inoltre sistemi più costosi e necessitano di maggiore manutenzione. Si distinguono in tende a superficie piana, tende alla veneziana, persiane, frangisole a lamelle orizzontali o verticali, aggetti o sporti, griglie, ecc. eventualmente orientabili e con gradi variabili di assorbimento.

Una visione olistica complessiva del metabolismo dell’edificio storico porta a comprendere, tra gli interventi di riqualificazione e manutenzione, anche le strategie operanti sull’intorno dell’edificio, volte a controllare la relazione tra il suo comportamento termoigrometrico e il microclima esterno. Migliorando l’efficienza energetica della fabbrica senza alcuna trasformazione diretta, tali strategie presentano un fattore di compatibilità estremamente elevato; nondimeno, le qualità storico-artistiche dei contesti ambientali degli edifici richiedono un’integrazione anche dal punto di vista compositivo, morfologico ed estetico. Durante la stagione invernale, le strategie di gestione del microclima permettono di ottimizzare l’incidenza e l’accumulo della radiazione solare; d’estate, riducendo gli apporti termici in prossimità dell’edificio e incrementando eventualmente la ventilazione, consentono una più efficace dissipazione del calore in eccesso.

In.22. Introduzione di sistemi di ombreggiamento all’intorno dell’edificio

I sistemi di ombreggiamento all’intorno dell’edificio riducono l’incidenza solare in prossimità della fabbrica, diminuendo i guadagni termici diretti e indiretti per ventilazione e ottimizzando la

⁷⁸ Battisti A., *La qualità ambientale delle architetture di interno: procedure e strumentazioni tecniche per la costruzione e gestione degli spazi a conformità ecologica*, Firenze, Alinea, 2005.

dissipazione termica. Le schermature dello spazio aperto si distinguono in naturali e artificiali, oppure in sistemi orizzontali, maggiormente efficaci per schermare i raggi solari provenienti da Sud, con un angolo di incidenza elevato nel periodo estivo, o verticali, indicati per la protezione dei bassi raggi provenienti da Est e Ovest.

4.1.9 Materiali

INDICE MATERIALI

- M.01 Isolanti termoriflettenti**
- M.02 Pannelli isolanti sottovuoto**
- M.03 Intonaco termoisolante a base di calce**
- M.04 Isolanti fibrosi naturali**
- M.05 Vetri con rivestimenti selettivi**
- M.06 Vetri isolanti**
- M.07 Vetri a selettività angolare/energetica**
- M.08 Vetri energetici**
- M.09 Vetri cromogenici**
- M.10 Cool Materials**
- M.11 Materiali a cambiamento di fase**

Isolanti termoriflettenti

Gli isolanti termoriflettenti sono composti da una o più superfici riflettenti, confinate con intercapedini d'aria; le proprietà di coibentazione sono date dalla bassa emissività del materiale (generalmente alluminio o altri metalli), che tende a riflettere verso l'esterno la maggior parte della radiazione solare che lo colpisce. Tale azione di riflessione è resa possibile dalla presenza dell'intercapedine, che distanzia le superfici e annulla la trasmissione del calore. I fogli di pellicola isolante, supportati da fogli di polietilene accoppiato o espanso dello spessore di circa 2 cm, vengono stesi tra due ordini di listelli, uno interno e uno esterno, di altri 2 cm di spessore ciascuno, in modo da formare microcamere d'aria ed evitare il contatto con la muratura: il componente finale è quindi composto fogli con uno spessore complessivo di 6 cm e con un'elevata capacità isolante (trasmissione termica 0,4 - 0,2); in più, la struttura non rigida e continua crea un sistema massa-molla-massa che consente un significativo smorzamento acustico.

L'isolante termoriflettente viene prodotto in rotoli ed è dunque leggero e facile da trasportare e immagazzinare, oltre ad avere un costo contenuto. Grazie alla sua flessibilità, presenta inoltre un'elevata semplicità di messa in opera: può essere tagliato con cutter e forbici e posato con graffe e viti, che garantiscono la reversibilità dell'intervento. La duttilità con cui può essere piegato permette di utilizzare il materiale per rivestire anche morfologie complesse. In particolare, la possibilità di essere risvoltato con uno spessore ridotto lo rende molto adatto per gli interventi di isolamento a fodera interna degli edifici, sia per le chiusure verticali **In.6** che orizzontali **In.3**: rispetto agli isolanti tradizionali, infatti, l'isolante termoriflettente garantisce un maggior volume utile interno e limita la necessità di complesse opere di rifacimento preliminari alla posa (come il sollevamento dei pavimenti o lo spostamento degli impianti elettrici e idrosanitari). Impiegato per i solai con riscaldamento a pavimento, l'uso dei termoriflettenti è piuttosto conveniente: il calore irradiato dalla serpentina non si disperde nell'ambiente sottostante, ma riflettendosi, rimane all'interno, riducendo le dispersioni.

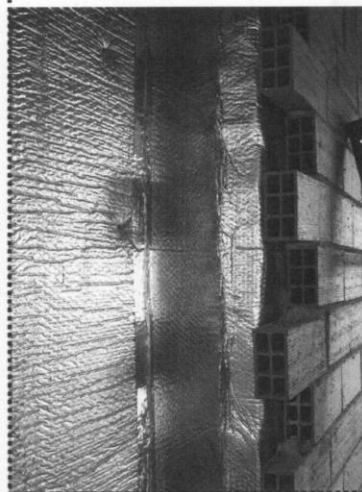
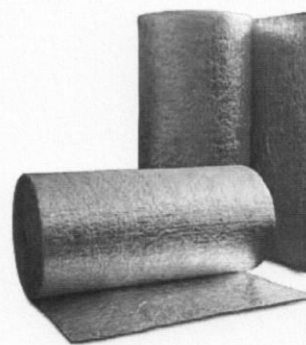
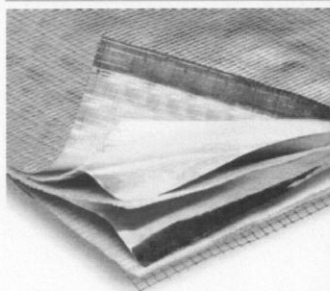
La composizione e la posa in opera degli isolanti termoriflettenti garantiscono i seguenti risultati: in inverno creano una barriera al freddo e restituiscono il calore emesso all'interno delle stanze; in estate, rimandano all'esterno l'irraggiamento per evitare il surriscaldamento.

I maggiori punti critici derivano dall'impermeabilità delle pellicole plastiche e metalliche di cui l'isolante è composto: nel caso di edifici di nuova costruzione o riqualificazione di edifici recenti, questa caratteristica rende superfluo l'uso di una barriera al vapore; al contrario, nella riqualificazione di edifici storici massivi, caratterizzati da un involucro ad alta permeabilità e traspirabilità, è necessario prestare attenzione al comportamento dell'isolante, che potrebbe modificare in positivo (allontanando verso l'esterno l'umidità di risalita) o in negativo (aumentando il rischio di condensa interstiziale) l'igrometria della parete.

λ - conducibilità termica 0,03

α - diffusività termica -

μ - resistenza al vapore 30769



Riferimenti bibliografici - sitografici

<http://energy.gov/energysaver/articles/radiant-barriers>

<http://www.rimainternational.org/>

Pannelli isolanti sottovuoto

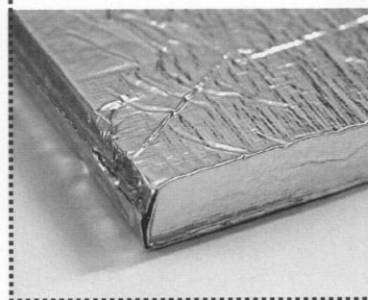
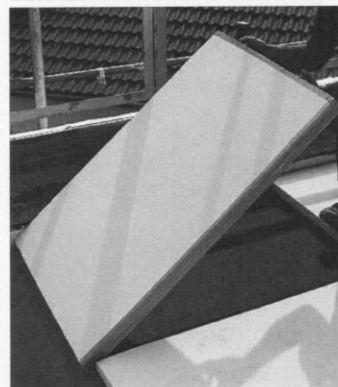
L'isolamento termico con pannelli sottovuoto è una tecnologia relativamente nuova, mediata dalle applicazioni aerospaziali e ancora relativamente poco applicata all'edilizia, ma che apre la strada a interessanti sperimentazioni. I pannelli sottovuoto VIP (*Vacuum Insulated Panels*) sono un prodotto a base minerale, composto da un nucleo di acido silicico in polvere pressato, inserito in un involucro di alluminio sottovuoto. I pannelli vengono privati dell'aria al loro interno fino a ottenere bassissime pressioni: tale processo riduce fortemente la mobilità delle poche molecole d'aria rimaste, annullando la conducibilità termica, che raggiunge valori dell'ordine di 0,003 W/mK. Può essere aggiunto all'interno un opacizzante per gli infrarossi per ostacolare ulteriormente il passaggio di calore; ciò garantisce elevatissime prestazioni di coibentazione con spessori dell'ordine di 2-3 cm, paragonabili allo spessore di un intonaco.

A fronte delle prestazioni eccezionali, però, questo tipo di isolante è costoso e delicato. Il supporto su cui viene posato il pannello deve essere privo di asperità per evitare ogni eventuale foratura accidentale. I pannelli non possono essere tagliati e adattati in opera e non possono essere piegati: solitamente vengono messi in commercio pannelli in forma rettangolare, ma potenzialmente possono essere possibili diverse forme di produzione per adattarsi meglio ad applicazioni specifiche. La pannellatura viene realizzata su progetto e fornita in moduli da posare in cantiere, limitando la fase di stoccaggio per prevenire lesioni che pregiudicherebbero la validità delle proprietà coibenti del pannello compromettendo lo strato sottovuoto, basilare per le ottime caratteristiche di conducibilità termica. Per aumentare la resistenza del materiale, è preferibile l'applicazione in pannelli sandwich, con strato esterno realizzato in vari materiali tra cui lastre di polistirolo, plastica o gomma per l'isolamento termo-acustico, in cui viene integrato lo strato incamiciato sottovuoto, in modo da garantire una maggiore robustezza del componente e limitare i danni in fase di trasporto e cantiere. Gli elementi prefabbricati possono essere prodotti fino alla dimensione di 3x10 m.

La fragilità e la rigidità rende complesso l'impiego dei pannelli sottovuoto per realizzare coibentazioni di piani morfologicamente irregolari e risolvere ponti termici di forma; ciò ne limita l'applicazione a facciate regolari e sistemi complanari. Grazie agli spessori ridotti a fronte di elevate prestazioni, possono essere adatti per gli interventi di isolamento a fodera interna degli edifici **In.6**, in quanto non limitano il volume utile interno e riducono la necessità di complesse opere di rifacimento preliminari alla posa (come il sollevamento dei pavimenti o lo spostamento degli impianti elettrici e idrosanitari).

Un ulteriore punto critico deriva dalla relativa impermeabilità del componente, che può operare come una barriera al vapore: nella riqualificazione di edifici storici massivi, caratterizzati da un involucro ad alta permeabilità e traspirabilità, questa caratteristica va analizzata con attenzione, in quanto potrebbe modificare in positivo (allontanando verso l'esterno l'umidità di risalita) o in negativo (aumentando il rischio di condensa interstiziale) il comportamento termoigrometrico della muratura.

λ - conducibilità termica	0,015
a - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	infinito



Riferimenti bibliografici - sitografici

Vacuum insulation in the building sector: systems and applications, Annex 39: High performance thermal insulation (HiPTI), The IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) Programme, 2005.
http://www.ivis2011.org/001-home_e.shtml

Intonaco termoisolante a base di calce

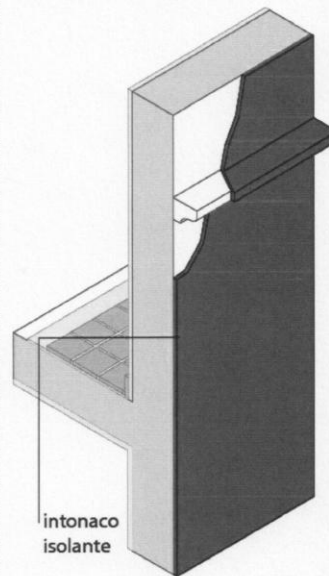
Nelle recenti sperimentazioni, l'intonaco si è evoluto da semplice materiale di finitura e protezione a sistema multifunzione capace di garantire prestazioni diversificate. In questo senso, gli intonaci termoisolanti rappresentano una buona alternativa ai materiali di isolamento tradizionale, unendo la facilità di posa e l'adattabilità tipica dell'intonaco a medie prestazioni di coibenza termica e alla possibilità di ridurre i ponti termici di forma e di struttura, sia interni che esterni.

Il materiale è costituito da una malta premiscelata a base di inerti leggeri, leganti idraulici e speciali resine additivanti che migliorano le proprietà termiche dell'intonaco tradizionale. Nella riqualificazione di edifici vincolati, si usano solitamente intonaci a base di calce idraulica naturale, che garantisce un'elevata traspirabilità, adesione ed elasticità, che ben si adatta ai movimenti della struttura antica e può rivestire anche eventuali rilievi o apparati decorativi; anche la calce aerea potrebbe essere impiegata in generale come legante, ma i consistenti spessori di applicazione necessari imporrebbero attese troppo lunghe tra la posa di uno strato e l'altro. Tali intonaci rappresentano una lavorazione tradizionale, completamente a base minerale, che permette cicli di rivestimento successivi, al contempo termoisolante e risanante; le tecniche di posa non richiedono alcuna modifica rispetto ai sistemi correnti, purché sia garantito uno spessore uniforme e continuo dell'intonaco.

Tra gli additivanti isolanti, i più indicati per l'involucro massivo dell'edilizia storica sono i materiali fibrosi naturali inorganici **M.4**, come la perlite e la vermiculite. Queste sono due particolari rocce di origine vulcanica, che vengono espanse ad alta temperatura per ottenere una struttura fibrosa in cui le celle di aria ferma migliorano la coibenza termica. Data la loro origine minerale, sono incombustibili, inerti, immarcescibili e resistenti all'umidità. Inoltre, sono materiali traspiranti e capaci di regolare l'umidità, dotati inoltre di buone proprietà termoisolanti e fonoassorbenti. Gli intonaci a calce che utilizzano tali materiali come inerti in granulometria fine presentano una struttura microporosa, che costituisce un rivestimento monolitico dimensionalmente stabile, con un comportamento termoigrometrico molto simile a quello della muratura tradizionale, assecondando il passaggio del vapore all'interno dell'involucro e riducendo il rischio di condensa interstiziale, muffe o macchie di umidità.

Le qualità igroscopiche, la duttilità e il ridotto spessore rendono l'uso dell'intonaco termoisolante molto adatto sia per il rivestimento esterno che interno dell'edificio. Inoltre, esso possiede una media densità, rispettando la capacità termica delle pareti e delle strutture a cui viene applicato, anche nel caso di fodera interna. Nondimeno, le capacità coibenti dell'intonaco termoisolante sono inferiori a quelle dell'isolamento a cappotto esterno **In.4** o della fodera isolante interna **In.6**, sia per la maggiore conducibilità termica dei materiali impiegati che per i ridotti spessori; la conducibilità termica si attesta tra 0,06 W/mK e 0,12 W/mK. Per questa ragione, risulta conveniente, qualora possibile, applicare strati successivi di intonaco fino a raggiungere spessori dai 4 ai 6 cm, che garantiscono un isolamento medio dell'edificio.

λ - conducibilità termica	0,09
a - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	< 9



intonaco
isolante



Riferimenti bibliografici - sitografici

Lamanna L.F., Bellicini A., *Intonaci e tinteggio*, Carrocci editore, 2002.
Lagnasco, Carlo Amedeo Reyneri di, *Intonaci in bioedilizia*, EdicomEdizioni, 2003.

Isolanti fibrosi naturali

Gli isolanti fibrosi naturali derivano da materiali che, per la loro natura o per successive lavorazioni, posseggono una struttura a celle aperte, con un numero elevato di fibre di forma allungata, oltre alla presenza di canali di dimensioni ridotte collegati con l'esterno. Le fibre di questi materiali costituiscono un reticolo che trattiene l'aria calda e che limita le collisioni tra molecole gassose, riducendo la trasmissione di calore per convezione e irraggiamento. Essi sono inoltre traspiranti e igroscopici: posseggono dunque la capacità di assorbire, trasmettere ed emettere, anche in forma liquida, il vapore e l'umidità dell'aria. Questa caratteristica avvicina il loro comportamento termoigrometrico a quello della muratura tradizionale, umida e traspirante, assecondando la naturale permeabilità dell'involucro. Rispetto agli altri isolanti tradizionali, perciò, i materiali fibrosi sono particolarmente adatti agli interventi di riqualificazione, sia per la realizzazione di rivestimenti a cappotto esterno **In.4** e a fodera interna **In.6**, sia per l'impiego come inerti in granulometria fine negli intonaci termoisolanti **In.5**.

I materiali fibrosi organici sono rappresentati principalmente da fibre o fiocchi di lana e legno, sughero, cellulosa. Sono materiali riciclabili e compostabili, con elevata igroscopicità e traspirabilità e peso contenuto. Gli isolanti in fibra e lana di legno vengono generalmente applicati alle pareti dall'interno, ma vengono anche posti nelle intercapedini o nei solai sottotetto; vengono fissati in cantiere per isufflaggio a pressione, oppure spruzzati sulle superfici, senza aggiunta di additivi; possono essere realizzati anche sotto forma di pannelli, ma richiedono l'integrazione di poliestere. Il sughero viene realizzato in pannelli compressi, che non richiedono l'utilizzo di resine e collanti. Le lane vengono commercializzate sotto forma di materassini o trecce, per poter essere applicate nelle intercapedini o sulle pareti interne degli ambienti.

I materiali fibrosi artificiali sono formati principalmente dalla perlite e dalla vermiculite, la cui morfologia fibrosa viene ottenuta tramite espansione ad alta temperatura di rocce vulcaniche, secondo un processo energeticamente dispendioso. Il materiale ottenuto è traspirante e capace di regolare l'umidità, pur essendo ogni singolo granulo impermeabile all'acqua e al vapore. Data la sua origine minerale, è incombustibile e non emette fumi tossici in caso di incendio, è esente da impurità e non contiene sostanze nocive per la salute. È chimicamente inerte, resistente all'umidità, immarcescibile e inattaccabile da parassiti, insetti e roditori. Il processo di espansione è irreversibile, pertanto il prodotto mantiene inalterate nel tempo le proprie caratteristiche. Come tutti i materiali di origine vulcanica può essere a rischio di una certa radioattività naturale.

I materiali fibrosi artificiali vengono applicati sfusi in intercapedini di pareti perimetrali, coperture, sotto-tetti non praticabili e canne fumarie; impastate con acqua e calce idraulica, concorrono alla realizzazione degli intonaci termoisolanti **In.5**.

FIBRA DI LANA

λ - conducibilità termica	0,04
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	1-2

FIBRA DI LEGNO

λ - conducibilità termica	0,038
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	1-2

CELLULOSA

λ - conducibilità termica	0,039
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	1-2

SUGHERO

λ - conducibilità termica	0,04
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	5-30

PERLITE

λ - conducibilità termica	0,05
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	5-8

VERMICULITE

λ - conducibilità termica	0,06
α - diffusività termica	-
μ - resistenza al vapore	8

Riferimenti bibliografici - sitografici

http://www.tuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/materiali-/Materiali_Isolanti.pdf
Poliseno G., «Isolanti fibrosi», *Progetto energia*, 3:2009, pp. 55-62.

Vetri con rivestimenti selettivi

I vetri con rivestimenti selettivi sono noti anche come “basso-emissivi” rispondono alle più alte esigenze di termoisolazione, trasparenza e omogeneità di comportamento. Si distinguono in vetri basso-emissivi e vetri selettivi. Entrambi i tipi di vetro collaborano bene con la massa termica, consentendo di mantenere all'interno il calore accumulato e rilasciato dalla muratura. Possono essere cobinate con l'introduzione di aria o gas fra due o più lastre di vetro. Operando sulla natura del gas, sullo spessore dell'intercapedine e sul posizionamento dei depositi superficiali che riducono l'emissività, si può ridurre la dispersione termica delle superfici vetrate.

Vetri basso-emissivi

Detti anche “a isolamento termico forzato”, sono adatti per ridurre le dispersioni termiche dell'involucro trasparente. Sono costituiti da vetri float sui quali è applicato un trattamento specifico per aumentare l'emissività normale del materiale, al fine di ridurre le dispersioni per irraggiamento. Il rivestimento dovrebbe essere inserito verso l'interno, per mantenere più calda la lastra interna.

La scelta del vetro basso emissivo ottimizza l'isolamento termico e la trasmissione luminosa, mentre non controlla il guadagno solare, poiché impedisce ai raggi infrarossi di disperdersi verso l'esterno ma contemporaneamente non controlla il guadagno termico dall'esterno: è una soluzione conveniente per le necessità di guadagno termico invernale ma deve essere opportunamente schermato in estate.

Per avere una buona prestazione termica deve essere accoppiato con un vetro float o di altro tipo: da solo, infatti, ha proprietà isolanti ridotte. Il vetro singolo può essere sostituito con una doppia vetratura in presenza di un telaio in legno massello, lamellare, in alluminio o PVC a taglio termico, caratterizzato da condizioni di buona manutenzione e di tenuta all'aria e all'acqua.

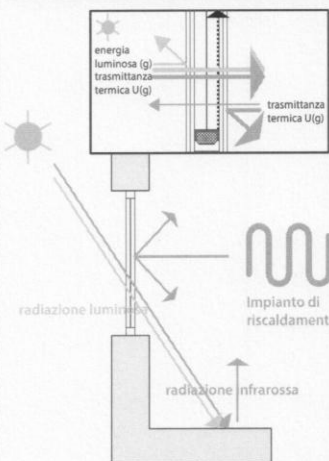
Vetri selettivi

Adatti per bilanciare le dispersioni e i guadagni solari dell'involucro trasparente, mediante disposizione catodica sottovuoto di più strati di metalli nobili su vetro float o colorato in pasta. Il rivestimento è detto selettivo poiché permette l'ingresso della radiazione luminosa ma non dell'infrarossa.

Si caratterizza per l'elevata trasmissione luminosa, il limitato apporto energetico e i bassi valori di emissività. L'indice di selettività spettrale coniuga bassa emissività e buon guadagno solare: è dunque vantaggioso per le necessità estive di contenimento del guadagno termico.

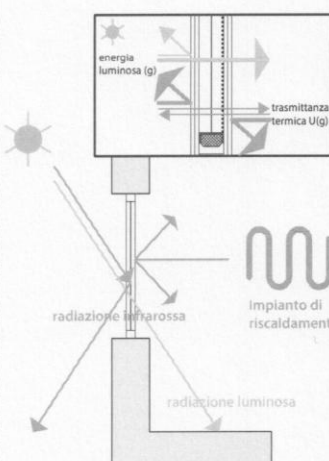
La presenza di un'intercapedine apporta un beneficio termico fino a uno spessore di 3 cm, quando l'aria è considerata immobile e priva di scambi termici. Il vetro singolo può essere sostituito con una doppia vetratura in presenza di un telaio in legno massello, lamellare, in alluminio o PVC a taglio termico, caratterizzato da condizioni di buona manutenzione e di tenuta all'aria e all'acqua.

FS% - fattore solare	26
TL% - trasmissione luminosa	62
TL.D% - trasmissione diffusa	0.1
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1.76



SCHEMA - vetri basso-emissivi

FS% - fattore solare	26
TL% - trasmissione luminosa	62
E - emissività	0.1
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1.76



SCHEMA - vetri selettivi

Riferimenti bibliografici / sitografici

Tucci, Fabrizio, *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*. Alinea Editrice, Firenze, 2006.
 Giuliano Dall'O', *Green Energy Audit. Manuale operativo per la diagnosi energetica e ambientale degli edifici*. Edizioni Ambiente, 2011

Vetri isolanti

I vetri isolanti sono materiali costituiti da un doppio vetro con inseriti materiali isolanti dotati di elevate prestazioni termiche e contenimento dell'abbagliamento visivo. La convenienza economica dell'impiego di questi sistemi aumenta con necessità di schermatura della radiazione ultravioletta (musei, biblioteche,...), con particolari esigenze di privacy o di sicurezza anti-effrazione, resistenza al vento e ai carichi della neve, o di sistemi vetrati calpestabili e pedonabili. È necessario verificare la resistenza del solaio poiché questi sistemi sono dotati di un peso proprio piuttosto elevato. Possono essere montati su un telaio mobile. L'aspetto traslucido oscura parzialmente l'involucro.

TIM – Transparent Insulating Materials

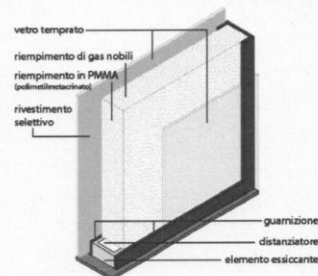
Questa classe di materiali ha proprietà termiche paragonabili a quelle di componenti opachi, conservando un alto valore di trasmittanza luminosa. Sono costituiti da sistemi geometrici complessi, in materiale plastico o vetroso, che bloccano i moti convettivi dell'aria e riducono lo scambio radiativo, permettono la riflessione e la diffrazione delle radiazioni solari, con conseguente diffusione dei raggi luminosi, assenza di abbagliamento e riduzione della radiazione ultravioletta negli ambienti interni. Il controllo del guadagno solare è nettamente superiore ad un vetro float. Le configurazioni geometriche dello strato TIM sono variabili a seconda delle esigenze energetiche di captazione dell'irraggiamento solare e del grado di isolamento termico.

Vetri Evacuati

Si caratterizzano per le elevate prestazioni di trasmittanza termica che riducono le dispersioni termiche dell'edificio per trasmissione. Sono costituiti da due lastre di vetro basso emissivo sigillate ermeticamente sul perimetro e separate da uno spazio evacuato. Il sottovuoto determina una drastica riduzione delle molecole d'aria nell'intercapedine tra i vetri, che limita i fenomeni di trasmissione energetica termica per conduzione, convezione e irraggiamento. Per evitare che a causa del vuoto i due vetri collassino l'uno sull'altro, è necessario un sistema di separazione costituito da piccoli pilastri di indio di dimensioni infinitesimali, disposti secondo una griglia regolare. Hanno l'aspetto esteriore di un doppio vetro tradizionale ma prestazioni paragonabili a un materiale isolante di 5 cm di spessore, riducendo in maniera notevole le infiltrazioni all'aria.

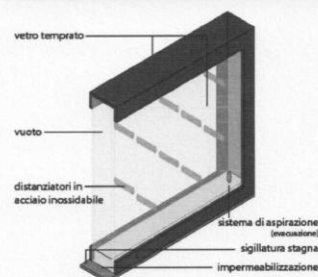
Aerogel – comportamento energetico

Dotato di una struttura porosa e trasparente, costituita da particelle silicee che gli conferiscono un aspetto traslucido, e si caratterizza per le elevate prestazioni di trasmissione luminosa e solare. La presenza di un vetrocamera diminuisce i valori di trasmissione luminosa ed energetica, mentre accresce le prestazioni isolanti e il fattore solare. In generale le prestazioni d'isolamento superano di gran lunga quelle di controllo del guadagno solare.



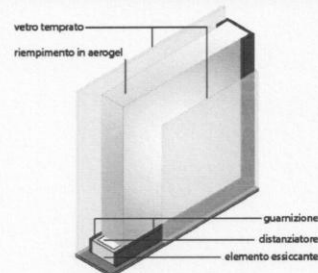
SCHEMA - vetri TIM

FS% - fattore solare	59
TL% - trasmissione luminosa	73
TLD% - trasmissione diffusa	59
U(W/m2K) - trasmittanza termica	0.8



SCHEMA - vetri Evacuati

FS% - fattore solare	46,5
TL% - trasmissione luminosa	67,5
E - emissività	0.1
U(W/m2K) - trasmittanza termica	1.20



SCHEMA - vetri Aerogel

FS% - fattore solare	45
TL% - trasmissione luminosa	60
TV - trasparenza	0.71
U(W/m2K) - trasmittanza termica	0.80

Riferimenti bibliografici / sitografici

Schittich C., Staib G., *Atlante del vetro*, UTET, 1999.

Vetri a selettività angolare/energetica

I vetri a selettività angolare sono quei tipi di vetro la cui forma geometrica e composizione materica sfrutta le proprietà di riflessione dei metalli, servono ad indirizzare la radiazione solare incidente con gli obiettivi di controllo termico, luminoso o energetico. I sistemi proposti permettono il controllo della radiazione estiva entrante con conseguente riduzione carichi termici, mentre lasciano passare i raggi invernali con inclinazioni inferiori, permettendo di beneficiare dei guadagni solari dell'effetto serra in inverno. Sono adatti ad essere utilizzati sia in copertura che in facciata come efficace alternativa ai sistemi di schermatura esterni, poiché offrono uguali prestazioni senza incidere in maniera notevole sull'impatto visivo di facciata, garantendo una distribuzione relativamente uniforme della luce naturale, protezione dall'abbagliamento e scarsa necessità di manutenzione.

Occorre prestare attenzione alla progettazione in base alle condizioni microclimatiche esterne per evitare di innescare effetti contrari a quelli desiderati, o fenomeni di abbagliamento. Vanno tenuti in considerazione i costi elevati e la riduzione della vista verso l'esterno.

Vetri Okasolar

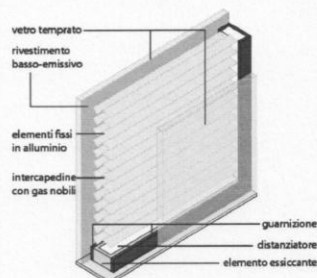
Sono costituiti da un elemento in vetro termico basso emissivo con intercapedine riempita di gas nobili, ospitante in modo integrato una serie di lamelle fisse schermanti ad alta capacità di riflessione. Con inclinazioni comprese tra i 34° e i 60°, questi elementi permettono l'ingresso di una quantità variabile di radiazione solare diretta in relazione all'altezza solare. Il sistema è particolarmente indicato quando è richiesta un'alta qualità dell'illuminazione naturale ed un effettivo controllo della radiazione solare mantenendo elevata la qualità di visione verso l'esterno.

Vetri con micro-reticolo integrato

Sono generalmente costituiti da una griglia micro-reticolare in materiale plastico rivestita da un sottile strato di alluminio ad altissima riflessione. I cosiddetti sistemi *micro sun shielding louvre* vengono solitamente inseriti tra una doppia vetrata sigillata (maggiore rigidità meccanica e protezione) o sul lato interno delle superfici vetrate. Possono essere integrati a vetrate fisse o mobili, orizzontali o verticali.

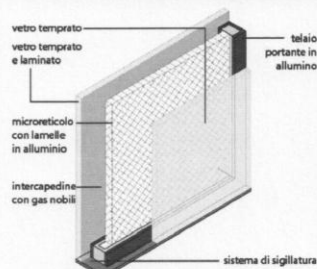
Vetri Okatech

Il sistema di controllo di questi vetri utilizza una maglia metallica a trame diverse sfruttando le capacità di riflessione dei metalli. Quando il sole ha altezze elevate la maglia schermo completamente il passaggio di luce, mantenendo solo la trasmissione diffusa dovuta alla riflessione. Con altezze solari più basse si ha una maggiore trasmissione termica e un aumento della luminosità della parete. A seconda dei fattori che influenzano la riprogettazione dell'involucro, si possono ottenere colorazioni, trame e dimensioni diverse per ottimizzare il controllo della radiazione solare.



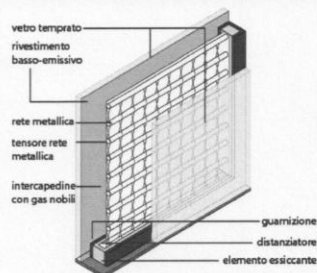
SCHEMA - vetri Okasolar

FS% - fattore solare	12÷31
TL% - trasmissione luminosa	2÷48
TLD% - trasmissione diffusa	60
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1.20



SCHEMA - vetri con microreticolo

FS% - fattore solare	26
TL% - trasmissione luminosa	42
TLD% - trasmissione diffusa	58
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1.60



SCHEMA - vetri Aerogel

FS% - fattore solare	12÷22
TL% - trasmissione luminosa	7÷30
TLD% - trasmissione diffusa	68
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1

Riferimenti bibliografici / sitografici

Schittich C., Staib G., *Atlante del vetro*, UTET, 1999.

<http://www.okalux.de/>

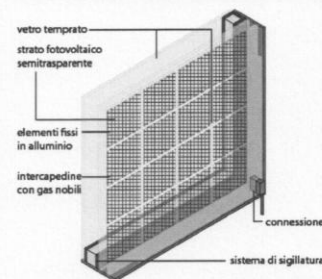
Vetri energetici

Vetri energetici con fotovoltaico integrato

Nell'idea di integrazione architettonica di sistemi solari attivi, i vetri energetici integrano moduli di fotovoltaico in film sottile alle vetrate esistenti. Le celle di silicio sono fissate con una resina tra due lastre di vetro. I cavi della corrente in uscita sono nascosti in corridoi creati nel telaio. In caso di necessità di isolamento termico, il modulo è integrabile in un doppio vetro, tuttavia il vetro frontale sarà bianco con spessore ridotto per ottimizzare l'assorbimento della radiazione luminosa, mentre il vetro posteriore può avere diversi colori, laminazioni e qualità isolanti.

Utilizzando moduli solari semi-trasparenti, il rendimento medio rispetto alle normali celle policristalline o monocristalline è tra il 4 e il 10%, ma viene compensata dalla possibilità di trasparenza dell'involucro. La buona schermatura dalla radiazione solare diretta permette di ottenere interessanti giochi di luce, contenendo l'abbagliamento e il carico termico estivo, contemporaneamente all'accumulo di energia elettrica che può essere usata per azionare sistemi di controllo della ventilazione dell'edificio. Tra gli svantaggi si riscontrano: l'alterazione della percezione visiva dell'esterno e la disuniforme distribuzione luminosa; i costi elevati e la non adattabilità stagionale. A seconda della applicabilità, sono riconducibili a tre tipologie di involucro: **tetti fotovoltaici strutturali**; **facciate fotovoltaiche**, particolarmente convenienti per le superfici esposte a sud; **frangisole**.

FS% - fattore solare	42-62
TL% - trasmissione luminosa	10
R - rendimento energetico	10-17
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1.20



SCHEMA - vetri energetici

Vetri cromogenici

Vetri cromogenici

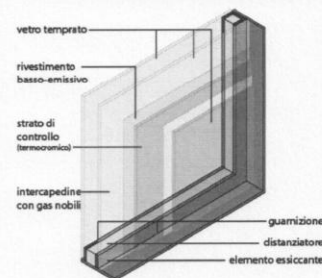
I vetri cromogenici sono sistemi a controllo selettivo e dinamico dell'energia termica e luminosa che modificano le proprietà ottiche in risposta a uno stimolo luminoso, elettrico o chimico proveniente da un ambiente esterno. I materiali consentono la modulazione dello spettro di trasmissione energetica in relazione alla variazione dell'intensità luminosa, della temperatura o del campo elettrico cui sono sottoposti. L'inserimento di tali vetri è adatto per controllare l'apporto luminoso ed energetico in climi caldi e temperati, nelle vetrate esposte alla radiazione solare diretta non oscurate da altri sistemi di schermatura interni, esterni o nell'intorno dell'edificio. Si distinguono in due tipologie in base al loro funzionamento:

Vetrate autoregolanti - usano materiali fotocromici e termocromici che variano automaticamente il loro comportamento spettrale (proprietà di trasparenza) in funzione del livello di illuminamento e della temperatura dell'ambiente, che induce una reazione chimica e una transizione di fase tra due stati diversi.

Vetrate attivate elettronicamente - usano materiali elettrocromici, cristalli liquidi dispersi e sistemi a particelle sospese che si attivano, modificando le proprietà di trasmissione luminosa, grazie alla presenza di uno stimolo elettrico esterno regolabile dall'utente.

La scelta di questo tipo di vetri è particolarmente indicata in sinergia con altri interventi di domotica. Al momento è un intervento abbastanza costoso ed è importante dunque valutarne la convenienza sia tecnica che economica, in alternativa all'impiego di pannelli fotovoltaici.

FS% - fattore solare	40-84
TL% - trasmissione luminosa	52-65
TL.D% - trasmissione diffusa	n.a.
U(W/m ² K) - trasmittanza termica	1-1.60



SCHEMA - vetri cromogenici (termocromici)

Riferimenti bibliografici / sitografici

Tucci, Fabrizio. *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*. Alinea Editrice, Firenze, 2006.

Cool materials

Con il termine *cool materials* si intende una gamma di materiali da rivestimento e finitura di coperture, facciate e pavimenti da esterni, dotati di particolari caratteristiche radiative che li rendono adatti a riflettere e disperdere una quota elevata di energia solare.

Quando un'onda elettromagnetica, durante il suo percorso di propagazione, colpisce un oggetto, una parte viene assorbita, una parte viene riflessa e una parte viene trasmessa; per la legge di conservazione dell'energia, la somma di tali componenti è pari alla quantità di radiazione incidente. Rispetto agli elementi dello spazio urbano, generalmente opachi, si trascura la quota di energia trasmessa; le quote restanti dipendono dall'angolo di incidenza, dalla rugosità della superficie e dalle caratteristiche interne dei materiali, a seconda del valore del coefficiente di riflessione, noto con il nome di albedo. L'albedo rappresenta dunque la percentuale di radiazione che viene riflessa e, per differenza, assorbita da un materiale: esso influenza fortemente la propagazione dell'energia solare nell'ambiente, sia disperdendola verso l'atmosfera che reindirizzandola verso le strutture limitrofe. L'albedo contribuisce anche a controllare l'apporto radiativo diretto da parte degli elementi costruiti, legato al coefficiente di emissione dei materiali e alla loro temperatura superficiale, che dipende anche dalla quota di energia solare assorbita dal corpo.

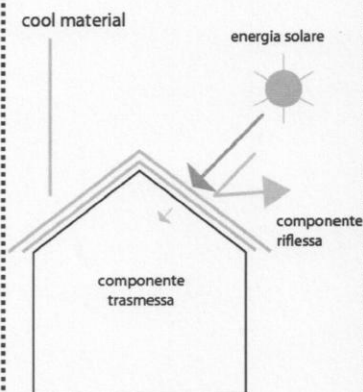
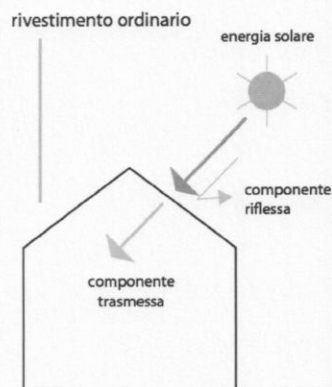
Durante la stagione estiva, materiali con elevato coefficiente di emissione ed elevato albedo (rappresentati complessivamente dal *Solar Reflectance Index, Indice di Riflessione Solare, SRI*) contribuiscono a disperdere al massimo l'energia solare, impedendo che essa contribuisca al riscaldamento delle strutture urbane e migliorando il comfort termoigrometrico degli spazi urbani e degli edifici.

Generalmente, a parità di altre caratteristiche, quanto più un materiale è chiaro tanto più sarà elevata la sua albedo; nondimeno, per venire incontro alle esigenze del mercato, si stanno diffondendo diversi materiali da copertura e pavimentazione esterna, denominati *cool materials*, caratterizzati da un elevato valore dell'SRI anche a fronte di colorazioni e finiture superficiali variabili.

Sulla spinta sia dei programmi di incentivazione, sia di una ormai acquisita consapevolezza da parte di costruttori, fornitori e committenti del settore edile, la varietà e la disponibilità di materiali adatti alla realizzazione di *cool materials*, è assai ampia. È infatti possibile reperire soluzioni commerciali per tipologie di copertura e pavimentazione di ogni genere: vernici, guaine bituminose, rivestimenti in lattice, rivestimenti in granigliato, piastrelle ceramiche o in cemento.

Le pavimentazioni, più complesse da analizzare anche in ragione dell'invecchiamento difficile da controllare, non hanno attualmente uno standard riconosciuto. Per le coperture, la principale iniziativa volta alla certificazione dei materiali è il *Product Rating Program* del *Cool Roof Rating Council, CRRC*. Con tale programma si sono introdotte procedure uniformi e rigorose di attestazione delle proprietà emissive dei materiali, che permettono l'utilizzo di un'etichetta depositata, che attesta i valori misurati delle proprietà emissive, quelle iniziali e (se disponibili) quelle dopo invecchiamento.

α - albedo	0,6 - 0,8
ε - emissività	0,95



Riferimenti bibliografici - sitografici

ASTM E903
ASTM E1918 - ASTM C1549
ASTM C1371

Materiali a cambiamento di fase

I materiali a cambiamento di fase sono sostanze che vengono utilizzate per aumentare l'inerzia termica delle strutture anche a fronte di una massa termica limitata. Tali materiali, caratterizzati da un punto di fusione vicino alla temperatura di comfort, accumulano e rilasciano calore latente durante il passaggio di fase tra lo stato solido a quello liquido, senza variare la propria temperatura superficiale. Durante il giorno, quando la temperatura aumenta, il materiale assorbe calore per liquefarsi, raffreddando l'ambiente; quando invece la temperatura diminuisce, il materiale ritorna solido, producendo calore che può essere dissipato per ventilazione. Tali materiali hanno un rendimento elevato anche integrati in componenti di limitato spessore.

I requisiti che un materiale a cambiamento di fase dovrebbe possedere per poter essere impiegato in edilizia sono: temperatura di fusione intorno ai 25 °C; elevato calore di transizione di fase; basso costo; ridotta tossicità, corrosività e igroscopicità. In questo senso, i materiali più comunemente impiegati sono le paraffine, piuttosto versatili, resistenti e non corrosive, ma anche relativamente costose, oppure composti chimici come i sali idrati, più economici, ma caratterizzati da un elevato tasso di inquinamento. Tali materiali presentano inoltre alcuni limiti generalizzati, tra cui principalmente l'infiamabilità, che ne riduce l'utilizzo a piccole porzioni di involucro. Inoltre, in alcuni periodi, ovvero quelli troppo caldi e protratti nel tempo, non sempre il rilascio termico durante l'abbassamento notturno di temperatura, avviene totalmente. Ciò significa che l'accumulo non avviene più in modo ottimale e spesso l'uso dei PCM deve essere accompagnato da sistemi per il raffreddamento notturno o scambiatori di calore.

Passando dallo stato solido a quello liquido nell'arco giornaliero, per poter essere utilizzati tali materiali devono essere integrati in contenitori plastici, che possano formare strati verticali o orizzontali per essere applicati alle pareti o ai soffitti. In questo caso, il componente ottenuto può essere utilizzato come massa di accumulo per serre solari o *muri Trombe*, sfruttando gli spessori ridotti e la lavorazione a secco, oppure come rivestimento per le pareti interne in modo da ottimizzarne l'inerzia termica. In questo caso, l'applicazione più comune prevede l'aggiunta di microcapsule, con diametro di 2-20 µm, ai materiali tradizionali, per ottenere componenti molto performanti senza modificare le modalità di posa. In particolare, si stanno mettendo in produzione pannelli di cartongesso per la realizzazione di pareti divisorie e controsoffitti, o speciali intonaci per il rivestimento delle superfici interne.

Tali componenti presentano un'inerzia termica estremamente elevata a fronte di ridotti spessori e sono solitamente compatibili con le opere di manutenzione corrente degli edifici storici. In più, la temperatura superficiale dell'involucro interno si stabilizza intorno alla temperatura di fusione del materiale (solitamente, tra 18 e 25°), ottimizzando il comfort termoisolante sia estivo che invernale.

PARAFFINA

punto di fusione	22-24°C
calore latente di fusione	152 kJ/kg

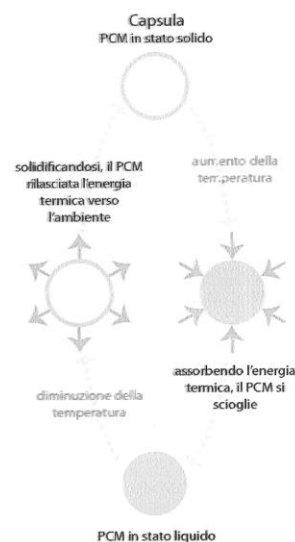
SALI IDRATI

punto di fusione	18-30°C
calore latente di fusione	250 kJ/kg

MISCELE COMPOSITE

punto di fusione	25-30°C
calore latente di fusione	180 kJ/kg

phase change materials (PCM)



Riferimenti bibliografici - sitografici

Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi, «PCM thermal storage in buildings: a state of art», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, fasc. 6, 2007, pp. 1146-1166.

Raoux, S., «Phase Change Materials», *Annual Review of Materials Research* 39: 25-48, 2009.

4.1.10 Interventi

INDICE INTERVENTI

- In.01 Isolamento all'estradosso della copertura non ventilato
- In.02 Isolamento all'estradosso della copertura ventilato
- In.03 Isolamento all'intradosso della copertura
- In.04 Isolamento esterno
- In.05 Intonaco termoisolante esterno
- In.06 Isolamento interno
- In.07 Sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica
- In.08 Sostituzione dei vetri con modelli isolanti o captanti su telaio esistente
- In.09 Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda anta vetrata
- In.10 Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda lastra di vetro
- In.11 Isolamento e tenuta all'aria del telaio
- In.12 Applicazione al vetro di pellicole speciali isolanti o captanti
- In.13 Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento
- In.14 Isolamento all'estradosso del solaio in corrispondenza di locali non riscaldati
- In.15 Isolamento all'intradosso del solaio sul terreno
- In.16 Realizzazione di barriere fisiche alla risalita capillare
- In.17 Realizzazione di barriere chimiche alla risalita capillare
- In.18 Realizzazione di sistemi di evacuazione dell'umidità
- In.19 Applicazione al vetro di pellicole a controllo solare
- In.20 Installazione di schermi interni
- In.21 Installazione di schermi esterni
- In.22 Introduzione di sistemi di ombreggiamento all'intorno dell'edificio
- In.23 Installazione di una mensola di luce (lightshelf)
- In.24 Realizzazione di una serra solare
- In.25 Realizzazione di camini di luce - suntube
- In.26 Realizzazione di camini di ventilazione

Isolamento all'estradosso della copertura non ventilato

M.01

M.04

Principio di funzionamento

L'isolamento all'estradosso della copertura non ventilato consente di migliorare la coibentazione dell'involucro e di ridurre i ponti termici di forma e di struttura. L'intervento prevede la rimozione e sostituzione del manto di copertura attraverso l'applicazione di uno strato continuo di pannelli isolanti protetti all'esterno da uno strato di finitura, che può essere composto dalle tegole nel caso di tetti spioventi, o da ghiaia o pavimento nel caso di tetti piani. Per garantire la reversibilità del sistema, è buona norma utilizzare giunti a secco per i pannelli isolanti; inoltre, è necessario verificare che la struttura portante sia compatibile con il sovraccarico derivante dalla posa dei pannelli. A seconda delle caratteristiche specifiche della copertura, è possibile optare per la soluzione tecnologica del tetto caldo o del tetto rovescio; l'uso di barriera al vapore può essere evitato utilizzando isolanti impermeabili o integrando l'uso di isolanti igroscopici e traspiranti (come i materiali fibrosi **M.4**) con una pendenza dell'1,5-2% sotto lo strato isolante per far defluire l'acqua. Nella posa, è necessario verificare la continuità del manto isolante per evitare infiltrazioni; i punti maggiormente critici riguardano i ponti termici per forma, i punti di raccolta delle acque meteoriche e le pendenze.

Applicabilità

L'isolamento all'estradosso della copertura non ventilato rappresenta un'alterazione dei prospetti dell'edificio; può dunque essere realizzato solo nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici della copertura. Nel caso di tetti spioventi, qualora le tegole esistenti siano in buone condizioni o abbiano un valore storico ed estetico che ne richieda la conservazione, esse possono essere ripristinate sulla nuova copertura. Dato che l'isolamento esterno consente l'uso della struttura portante della copertura come massa termica, la soluzione è ottimizzata per ambienti sottotetto utilizzati e con funzionamento continuo dell'impianto di riscaldamento.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Lo svantaggio maggiore dell'isolamento all'estradosso della copertura non ventilato riguarda la necessità di rifacimento complessivo del tetto, che può modificare i prospetti esterni.

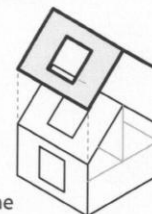
Se lo strato isolante è all'estradosso, analogamente all'isolamento a capotto delle chiusure verticali **In.5**, esso garantisce l'eliminazione dei ponti termici strutturali, aumentando la temperatura superficiale delle pareti interne e riducendo il rischio di condensa. L'uso di isolante esterno consente di sfruttare l'inerzia termica della struttura portante della copertura per stabilizzare le condizioni di comfort interne e ottimizzare il funzionamento dell'impianto di climatizzazione. In caso di tetti a falda o con struttura a scheletro, il sistema rappresenta una protezione della struttura dagli shock termici, contribuendo ad aumentarne la durata.

Sinergie e Interazioni

L'isolamento esterno della copertura non ventilato è maggiormente efficace nella riduzione dei ponti termici se abbinato all'isolamento esterno delle chiusure verticali corrispondenti **In.4** e alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi **In.7-8**; per evitare fenomeni di condensa, è bene garantire un certo grado di ventilazione al sistema.

unità tecnologica

chiusure orizzontali superiori opache

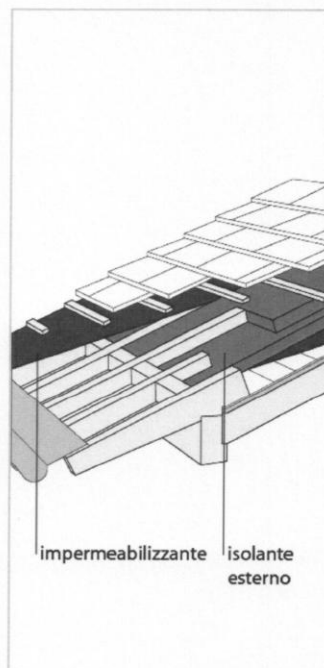


adeguamento superficiale

integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



impermeabilizzante isolante esterno

azioni:

isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Isolamento all'estradosso della copertura ventilato

CS.04

M.01

CS.05

M.04

CS.08

Principio di funzionamento

L'isolamento all'estradosso della copertura ventilato consente di migliorare la coibentazione dell'involucro, di ridurre i ponti termici di forma e di struttura. L'intervento prevede la rimozione e sostituzione del manto di copertura, attraverso l'applicazione di uno strato continuo di pannelli isolanti e la realizzazione di un'intercapedine ventilata a ridosso dell'isolamento; può essere realizzato anche su una copertura piana, ma normalmente viene impiegato nel caso di falde inclinate con struttura in legno. Lo strato di ventilazione evita la formazione di condensa e, durante la stagione estiva, facilita la formazione moti convettivi che dissipano il calore delle strutture, contribuendo al raffrescamento passivo degli ambienti sottotetto.

Per garantire la reversibilità del sistema, è buona norma utilizzare giunti a secco per i pannelli isolanti; inoltre, è necessario verificare che la struttura portante sia compatibile con il sovraccarico derivante dalla posa dei pannelli e dal supporto dell'intercapedine. Lo strato ventilato rende normalmente superfluo l'utilizzo di una barriera al vapore; dato l'intercapedine evita i ristagni d'acqua, è possibile impiegare sia isolanti impermeabili che materiali igroscopici e fibrosi.

Applicabilità

L'isolamento all'estradosso della copertura ventilato rappresenta un'alterazione dei prospetti dell'edificio e una modifica delle altezze di gronda; può dunque essere realizzato solo nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici della copertura. Nel caso di tetti spioventi, qualora le tegole esistenti siano in buone condizioni o abbiano un valore storico ed estetico che ne richieda la conservazione, esse possono essere ripristinate sulla nuova copertura. Dato che l'isolamento esterno consente l'uso della struttura portante della copertura come massa termica, la soluzione è ottimizzata per ambienti sottotetto utilizzati e con funzionamento continuo dell'impianto di riscaldamento.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

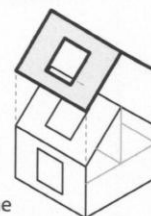
Lo svantaggio maggiore dell'isolamento all'estradosso della copertura ventilato riguarda la necessità di rifacimento complessivo del tetto e nella modifica dell'altezza della linea di gronda per alloggiare l'intercapedine ventilata. Se lo strato isolante è all'estradosso, analogamente all'isolamento a cappotto delle chiusure verticali **In.4**, esso garantisce l'eliminazione dei ponti termici strutturali, aumentando la temperatura superficiale delle pareti interne, mentre la presenza dell'intercapedine ventilata riduce il rischio di condensa. L'uso di isolante esterno consente di sfruttare l'inerzia termica della struttura portante della copertura per stabilizzare le condizioni di comfort interne e ottimizzare il funzionamento dell'impianto di climatizzazione. In caso di tetti a falda o con struttura a scheletro, il sistema rappresenta una protezione della struttura dagli shock termici, contribuendo ad aumentarne la durata.

Sinergie e Interazioni

L'isolamento esterno della copertura ventilato è maggiormente efficace nella riduzione dei ponti termici se abbinato all'isolamento a cappotto delle chiusure verticali corrispondenti **In.4** e alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi **In.7-8**.

unità tecnologica

chiusure orizzontali superiori opache

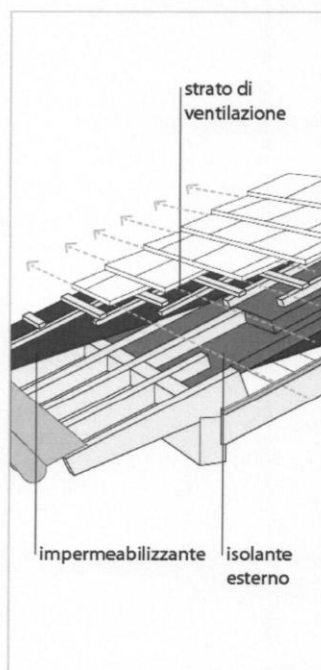


adeguamento superficiale

integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
capture accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Isolamento all'intradosso della copertura

M.01

M.02

M.04

Principio di funzionamento

L'isolamento all'intradosso della copertura consente di migliorare la coibentazione dell'involucro quando non è possibile intervenire all'estradosso. Dato che l'intervento riduce il volume utile dei locali, è necessario garantire il rispetto dei vincoli di altezza da normativa; inoltre, è buona norma scegliere materiali isolanti con alte prestazioni anche in presenza di spessori ridotti, come gli isolanti termoriflettenti **M.1** o sottovuoto **M.2**. La posa può prevedere l'uso di pannelli autoportanti, fissati all'intradosso del solaio o della struttura portante del tetto spiovente tramite agganci a secco; qualora le volumetrie esistenti lo permettano, è possibile distanziare l'isolamento dal solaio, realizzando un'intercapedine ventilata interna che riduce la formazione di condensa, migliora il raffrescamento estivo e permette l'alloggiamento degli impianti.

Per l'isolamento con lastre inserite direttamente a contatto con il solaio esistente è opportuno scegliere materiali dotati di ridotta conducibilità termica e buona permeabilità alla diffusione del vapore. Nei controsoffitti isolati e ventilati è possibile utilizzare anche materiali igroscopici, in quanto l'intercapedine d'aria evita la formazione di condensa interstiziale e superficiale.

Applicabilità

L'isolamento all'intradosso della copertura rappresenta un'alterazione dell'aspetto del sottotetto; può essere realizzato solo nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici degli ambienti al di sotto della copertura, o quanto il sottotetto non debba essere lasciato a vista.

A causa della minore efficienza rispetto all'isolamento esterno, l'intervento viene preferito qualora le coperture esterne non possano essere alterate. Dato che l'isolamento interno esclude l'uso della struttura portante della copertura come massa termica, è preferibile nel caso di ambienti con un uso intermittente dell'impianto di riscaldamento, o di ambienti non abitabili.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Rispetto all'isolamento all'estradosso, l'isolamento all'intradosso presenta maggiori discontinuità e limita l'impiego delle strutture portanti della copertura come masse termiche. Non riesce ad eliminare i ponti termici strutturali, con possibile formazione di condensa interstiziale, macchie di umidità o muffe. Inoltre, esso riduce il volume utile interno, soprattutto nel caso venga realizzata un'intercapedine; tuttavia, tale intervento consente di realizzare un controsoffitto per alloggiare gli impianti, che può essere molto conveniente in concomitanza del loro eventuale complessivo.

L'isolamento all'intradosso è di facile e rapida realizzazione e può essere attuato in maniera selettiva e scaglionata, benché tale modalità aumenti il rischio di condensa in quanto rende fortemente discontinue le proprietà termiche dell'involucro.

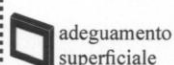
Sinergie e Interazioni

L'isolamento interno presuppone la fodera di tutte le superfici di confine, incluse le chiusure verticali **In.6**; inoltre, nel caso di complesse morfologie interne, può essere integrato con l'uso di intonaci termoisolanti, con modalità analoghe agli intonaci termoisoanti esterni verticali **In.5**.

unità tecnologica



chiusure
orizzontali
superiori opache



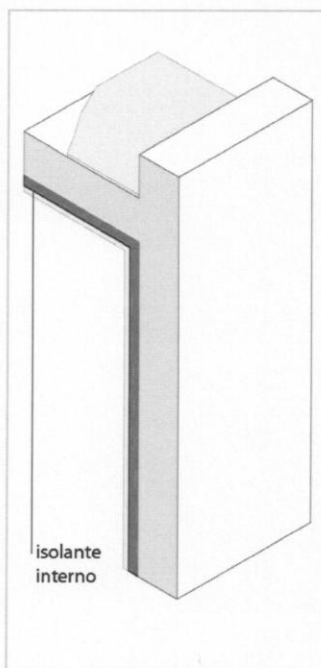
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A **B M A** **B M A**



isolante
interno

azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Isolamento esterno

CS.04

M.04

CS.10

Principio di funzionamento

L'isolamento esterno dell'edificio, sviluppato uniformemente senza interruzioni su tutta la superficie (tipo a cappotto) è in grado di creare una barriera continua al passaggio del calore e di controllare la formazione di umidità all'interno della parete. Esso consiste nell'applicazione, sull'intera superficie esterna dell'edificio, di pannelli isolanti che vengono protetti da uno spessore di finitura protettivo, realizzato con particolari intonaci. Nella riqualificazione di edifici storici, per la reversibilità dell'intervento è buona norma evitare l'incollaggio dei pannelli, prevedendo piuttosto l'uso di tasselli omologati o profili, a seconda delle caratteristiche di compatibilità del supporto murario. La scelta dell'isolante deve conformarsi alla permeabilità e traspirabilità del sistema murario: in caso di edifici massivi, è indicato l'uso di materiali fibrosi naturali organici **M.4** dotati di buone proprietà igroscopiche.

Applicabilità

L'isolamento esterno rappresenta un'alterazione dei prospetti dell'edificio; può dunque essere realizzato solo nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici della facciata. Inoltre, l'intervento può essere poco conveniente qualora la morfologia dell'edificio presenti un numero notevole di discontinuità geometriche che non possono essere interrotte, o rivestite dalla strato isolante (ad esempio, se sono presenti balconi o logge). Dato che l'isolamento esterno consente l'uso delle murature come massa termica, la soluzione è ottimizzata per ambienti con funzionamento continuo dell'impianto di riscaldamento.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Lo svantaggio maggiore dell'isolamento a cappotto consiste nella modifica dei prospetti esterni; inoltre, esso influisce fortemente sul comportamento igrometrico dell'edificio.

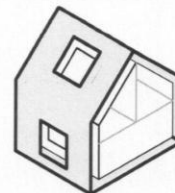
I vantaggi principali risiedono nella possibilità di rivestire in maniera uniforme la superficie esterna, garantendo un buon controllo dei ponti termici per edifici privi di elementi volumetrici sporgenti e limitando le dispersioni termiche e il proliferare di condensa superficiale, macchie di umidità o muffe all'interno dei locali. Inoltre il cappotto, aumentando lo spessore del muro verso l'esterno non porta via spazio ai vani interni come invece si verifica con l'isolamento a fodera interna **In.6**.

L'uso di un isolante esterno, infine, consente di sfruttare l'inerzia termica delle pareti sul lato interno dell'edificio per stabilizzare le condizioni di comfort e aumentare il riscaldamento radiativo, ottimizzando il funzionamento dell'impianto di climatizzazione. La massa termica può poi essere utilizzata, durante l'estate, per assorbire e dissipare il calore in eccesso, migliorando il raffrescamento passivo dell'edificio.

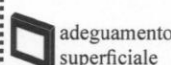
Sinergie e Interazioni

L'isolamento esterno delle chiusure verticali è maggiormente efficace nella riduzione dei ponti termici se abbinato all'isolamento delle coperture **In.1-2-3** e dell'attacco a terra **In.14-15** e alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi **In.7-8**; per evitare fenomeni di condensa, tuttavia, è bene garantire un certo grado di ventilazione al sistema.

unità tecnologica



chiusure
opache



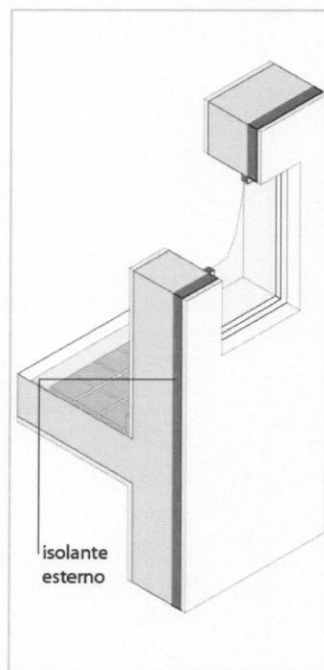
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



isolante
esterno

azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

U massimo di 0,35 W/m²K per il restauro di una parete esterna

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Intonaco termoisolante esterno

Principio di funzionamento

La sostituzione dell'intonaco esterno con un intonaco termoisolante garantisce una buona riduzione dei ponti termici anche in presenza di apparati decorativi o volumetrie sporgenti intonacate. Il materiale è costituito da una malta premiscelata a base di inerti leggeri, leganti idraulici e speciali resine additivanti che migliorano le proprietà termiche dell'intonaco tradizionale. Nella riqualificazione di edifici vincolati, l'uso di calci naturali o l'aggiunta nell'impasto di isolanti espansi o fibrosi **M.3** garantisce caratteristiche di traspirabilità e permeabilità dell'involucro vicine a quelle della muratura tradizionale, senza alterarne il comportamento igroscopico. Le capacità coibenti dell'intonaco termoisolante sono inferiori a quelle dell'isolamento a cappotto, sia per la maggiore conducibilità termica dei materiali impiegati che per i ridotti spessori; per questa ragione, risulta conveniente, qualora possibile, applicare strati successivi di intonaco fino a raggiungere spessori dai 4 ai 6 centimetri, che garantiscono una media coibentazione dell'edificio.

Applicabilità

L'intonaco termoisolante può essere applicato nel caso in cui l'isolamento a cappotto non sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici delle facciate; inoltre, l'intonaco deve ricoprire i prospetti uniformemente. Dato che l'intonaco termoisolante esterno consente l'uso delle murature come massa termica, la soluzione è ottimizzata per ambienti con funzionamento continuo dell'impianto di riscaldamento.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

L'intonaco termoisolante ha un potere coibente inferiore rispetto agli altri sistemi.

D'altra parte, esso rappresenta l'ottimizzazione di materiali tradizionali, la cui funzione protettiva li rende deperibili e, in genere, richiede la loro sostituzione periodica: per questa ragione, l'intervento può inserirsi nelle comuni attività di manutenzione delle facciate. Inoltre, le tecniche di posa non richiedono alcuna modifica rispetto ai sistemi correnti, purché sia garantito uno spessore uniforme e continuo dell'intonaco.

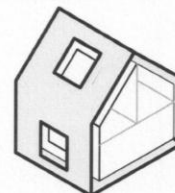
Inoltre, l'uso di calci naturali e di isolanti fibrosi inorganici come additivi non altera il comportamento igrometrico delle murature, evitando la formazione di condensa interstiziale, macchie di umidità o muffe.

Infine, la facilità di posa riduce il rischio di ponti termici derivanti da cattiva esecuzione dell'intervento di isolamento.

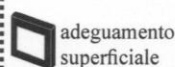
Sinergie e Interazioni

L'intonaco termoisolante rappresenta un'alternativa rispetto all'isolamento a cappotto. Per una migliore coibentazione dell'edificio, esso andrebbe abbinato alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi **In.7-8** e all'isolamento delle coperture **In.1-2-3** e dell'attacco a terra **In.14-15**, sia con intonaco termoisolante che con sistemi a cappotto, purché le proprietà coibenti dei materiali utilizzati non siano troppo diversificate, in modo da evitare ponti termici in corrispondenza delle giunzioni.

unità tecnologica



chiusure
opache

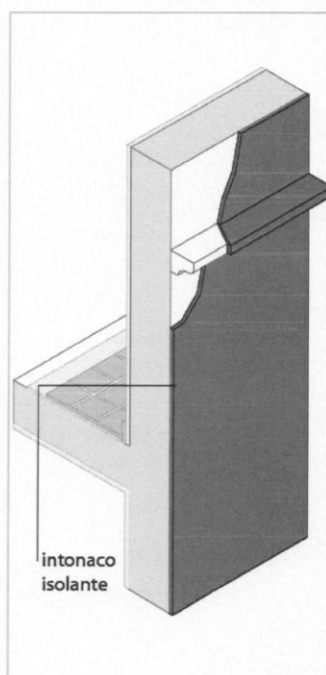


adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività



intonaco
isolante

azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

U massimo di 0,35 W/m²K per il restauro di una parete esterna

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Isolamento interno

CS.02	M.01
CS.03	M.02
CS.04	M.03

Principio di funzionamento

L'isolamento sulle pareti interne dell'edificio consente di migliorare la coibentazione dell'involucro, ma non garantisce l'eliminazione delle discontinuità termiche, con possibile formazione di condensa interstiziale, macchie di umidità o muffe. In particolare, esso permette di eliminare i ponti termici relativi agli spigoli verticali e al giunto tra serramento e parete, mentre i ponti termici strutturali tra chiusura verticale e struttura orizzontale richiedono il risvolto dello strato isolante verso l'interno per almeno 100-150 centimetri. Dato che l'intervento determina una diminuzione del volume utile del fabbricato, è buona norma scegliere materiali isolanti con alte prestazioni anche in presenza di spessori ridotti, come gli isolanti termoriflettenti **M.1** o sottovuoto **M.2**, che non necessitano di barriera al vapore; in ogni caso, in presenza di pareti massive è bene impiegare componenti con proprietà di traspirabilità e permeabilità analoghe a quelle della muratura.

Applicabilità

L'isolamento interno rappresenta un'alterazione delle pareti interne dell'edificio; può dunque essere realizzato nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici dei rivestimenti interni. A causa della minore efficienza rispetto all'isolamento esterno, l'intervento viene preferito qualora le facciate esterne non possano essere alterate o non siano intonacate, oppure quando la morfologia dell'edificio presenti un numero notevole di volumi sporgenti come balconi o logge, la cui discontinuità non viene interrotta da un isolamento a cappotto **In.4**. L'isolamento interno, escludendo l'uso delle murature come massa termica, è preferibile nel caso di ambienti con un uso intermittente dell'impianto di riscaldamento, che entra a regime più rapidamente.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

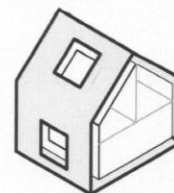
Rispetto all'isolamento esterno, l'isolamento interno presenta maggiori discontinuità e, per la riduzione dei ponti termici, necessita di uno sviluppo maggiore delle superfici da rivestire: le facciate verticali, più il risvolto su soffitti e pavimenti di ogni ambiente. Ciò riduce anche il volume utile interno e può creare pendenze o dislivelli sulle superfici orizzontali. Inoltre, l'isolamento interno limita l'assorbimento del calore da parte delle masse termiche, aumentando gli sbalzi di temperatura e impedendo il raffreddamento passivo radiativo delle pareti.

Nondimeno, l'intervento è di facile e rapida realizzazione e può essere attuato in maniera selettiva e scaglionata, benché tale modalità aumenti il rischio di condensa per la forte discontinuità delle proprietà termiche dell'involucro. Dato che l'isolamento interno, se risvolto sulle superfici orizzontali, può richiedere notevoli opere di adeguamento (rifacimento o integrazione dei pavimenti, spostamento degli impianti), l'intervento è maggiormente conveniente quando abbinato alla manutenzione generale degli interni.

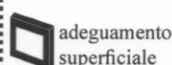
Sinergie e Interazioni

L'isolamento interno presuppone la foderatura di tutte le superfici di confine, incluse le chiusure orizzontali; inoltre, nel caso di complesse morfologie interne, può essere integrato con l'uso di intonaci termoisolanti, con modalità analoghe agli intonaci termoisoanti esterni **In.5**.

unità tecnologica



chiusure opache



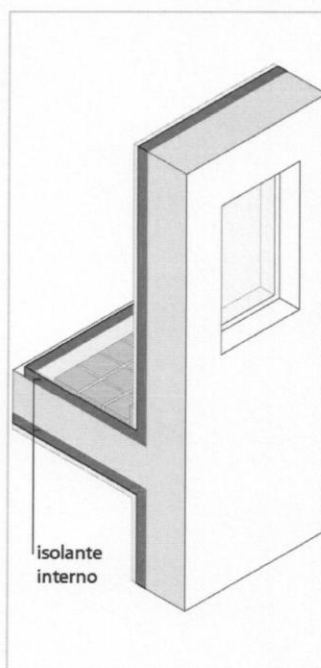
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



isolante interno

azioni:

isolare	scambiare
captare	accumulare
distribuire	dissipare

Riferimenti normativi

U massimo di 0,35 W/m²K per il restauro di una parete esterna

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M. 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Sostituzione del serramento con modelli ad alta prestazione energetica

CS.02

M.05

M.06

M.09

Principio di funzionamento

Nel bilancio energetico di un involucro il serramento rappresenta un punto critico per le sue caratteristiche costruttive e funzionali, in quanto deve bilanciare le esigenze di isolamento termico, controllo solare, contatto visivo, comfort microclimatico e acustico e sicurezza degli utenti. La misura prevede la sostituzione delle finestre esistenti con serramenti ad alta prestazione energetica. Ai fini di un'ottimizzazione energetica, è necessario progettare un sistema di vetratura che bilanci le prestazioni d'isolamento termico e controllo solare e in seguito scegliere le caratteristiche del telaio in relazione alle esigenze estetiche, al costo, alla prestazione termica, alla tenuta all'aria.

Applicabilità

La sostituzione completa delle finestre necessita innanzi tutto di una valutazione del valore intrinseco del serramento esistente. Se il serramento può essere considerato come elemento di pregio che contribuisce al valore dell'edificio, sarà necessario operare scelte meno incisive.

Vantaggi / Svantaggi / Rischi

La sostituzione della finestra comporta:

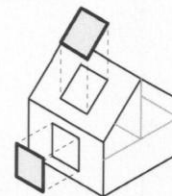
- una riduzione del carico termico legato ai serramenti tra il 40% e l'80% a seconda del tipo di vetro che viene sostituito;
- un controllo del guadagno solare legato ai serramenti fino al 70% in caso di uno di vetri basso emissivi o selettivi;
- una riduzione delle infiltrazioni d'aria fino al 94% con un serramento ad alta tenuta.

L'installazione corretta di un nuovo serramento garantisce la tenuta all'aria evitando infiltrazioni indesiderate. Occorre tuttavia evitare che l'ermeticità dei nuovi componenti possa pregiudicare la ventilazione dei locali, che deve essere comunque garantita eventualmente attraverso ventilazione meccanica controllata o manuale. La mancanza di ricambi d'aria potrebbe portare alla formazione di condensa superficiale, causa di discomfort termico e di degrado delle pareti.

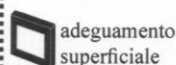
Sinergie e Interazioni

La scelta del tipo di serramento da inserire necessita di una valutazione attenta delle prestazioni in essere del serramento esistente, delle variabili climatiche locali, della posizione del serramento, della funzione dell'edificio e delle tecniche di posa in opera. È necessario considerare la compatibilità dimensionale e materica della finestra rispetto al vano murario e alla stratigrafia della parete esterna. È opportuno posare il serramento in continuità dell'isolamento termico e dell'intercapedine della parete, se presente; coibentare il cassonetto e il vano termosifone sotto finestra, se presenti. Sarà inoltre opportuno valutare il funzionamento energetico della muratura esistente, per far sì che il comportamento della nuova finestra asseconi e non contrasti quello delle altre parti dell'edificio. I vantaggi portati dalla sostituzione dell'infisso sono fortemente influenzati dal tipo di telaio (fisso/mobile; taglio termico; tenuta all'aria) e dal tipo di vetro (vetri selettivi, vetri energetici, vetri camera, ecc.).

unità tecnologica



chiusure trasparenti



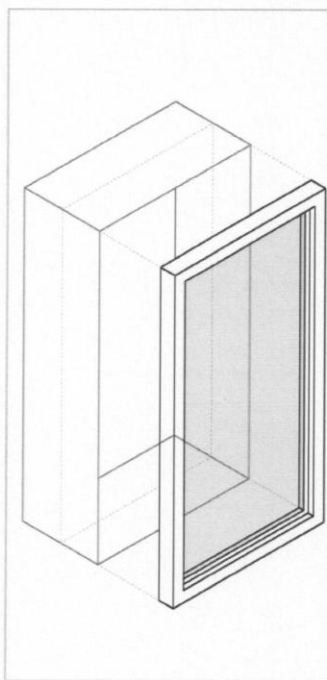
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invisibilità

B M A B M A B M A



azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311.2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.
UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.
UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Sostituzione dei vetri su telaio esistente

CS.06

M.05

CS.07

M.07

CS.10

M.08

Principio di funzionamento

Il vetro tradizionale non ha buone proprietà di resistenza alla trasmissione del calore. La sua sostituzione con una vetratura dotata di una resistenza termica più elevata migliora la prestazione energetica dell'involucro in quanto riduce le perdite per trasmissione. L'inserimento di una nuova vetratura comporta anche la riduzione delle infiltrazioni d'aria che di manifestano tra il vetro e il telaio. Per ottimizzare l'intervento è opportuno effettuare una sigillatura dell'involucro.

La misura prevede la sostituzione del vetro esistente con vetrazioni ad alta efficienza energetica, conservando il telaio originario. Il vetro deve bilanciare le esigenze di contenimento termico e controllo solare.

Applicabilità

La sostituzione dei vetri con modelli isolanti o captanti permette di ridurre le dispersioni termiche dell'edificio quando le caratteristiche tecniche o le scelte di carattere estetico-storico non consentono la sostituzione dell'intero serramento **In.7**. È di fondamentale importanza valutare la resistenza meccanica, lo stato di conservazione e la qualità delle prestazioni termiche del telaio esistente.

Vantaggi / Svantaggi / Rischi

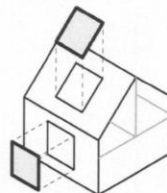
La sostituzione della finestra comporta:

- una riduzione del carico termico legato ai serramenti tra il 50% e l'85% a seconda del tipo di vetro che viene sostituito;
- un controllo del guadagno solare legato ai serramenti tra il 27% e il 45% in caso di uno di vetri basso emissivi o selettivi;
- una riduzione delle infiltrazioni d'aria fino all'82% con un serramento ad alta tenuta.

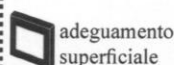
Sinergie e Interazioni

La sostituzione dei vetri prevede l'impiego di modelli in grado di bilanciare la riduzione delle dispersioni energetiche con il guadagno solare. In base alla valutazione delle necessità energetiche dell'edificio/ambiente, dello stato di conservazione, delle caratteristiche materiche e dimensionali, e della resistenza del telaio, si potrà optare per vetri ad alte prestazioni energetiche del tipo: vetri con rivestimenti selettivi **M.5**, vetri isolanti **M.6**, vetri a selettività energetica **M.7**, vetri cromogenici **M.9**, vetri energetici **M.8**. Per ottimizzare l'intervento sarà opportuno sigillare le infiltrazioni d'aria provenienti dalle giunzioni tra il vano murario e il telaio **In.11**. Il vetro singolo può essere sostituito con una doppia vetratura in presenza di un telaio in legno massello, lamellare, in alluminio o PVC a taglio termico, caratterizzato da condizioni di buona manutenzione e di tenuta all'aria e all'acqua.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



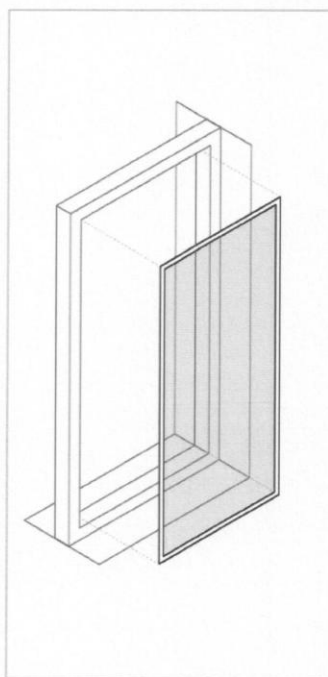
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311.2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.
UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.
UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Messa in opera sul lato interno di un secondo serramento

CS.02

M.05

CS.04

M.06

M.07

Principio di funzionamento

Una soluzione per migliorare la qualità termica delle finestre a vetro singolo è mettere in opera una seconda anta vetrata, predisponendo una finestra aggiuntiva con elevata efficienza di vetratura e telaio. L'operazione consiste nell'inserimento di un secondo serramento montato direttamente all'interno della finestra originale storica, che agisce in modo simile ad un doppio vetro. Può essere temporaneo o permanente e deve essere montato a scorrere o aprire verso l'interno in modo da garantire una facile apertura delle finestre originali per scopi di ventilazione, pulizia e fuga di emergenza. Il sistema può essere apribile (a battente o scorrevole) o fisso (rimovibile e leggero).

Applicabilità

Con questa misura l'aspetto esterno della parte anteriore dell'edificio non verrà modificato, anche se la qualità termica e l'isolamento acustico dell'edificio saranno migliorate notevolmente. È dunque accettabile per la maggior parte degli edifici. Se accuratamente progettato, il sistema può essere relativamente poco invasivo, attraverso telai a scomparsa e una divisione dell'infisso che ricalca quella esteriore. È tuttavia opportuno solo se non influenza il carattere dell'ambiente in cui è installato: ambienti interni di pregio possono essere compromessi dal montaggio di doppi vetri.

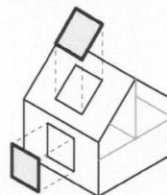
Vantaggi / Svantaggi / Rischi

L'inserimento di un secondo serramento comporta: la riduzione delle correnti d'aria e il miglioramento del comfort interno, soprattutto se combinato con una efficientazione delle finestre esistenti; migliori risultati sull'isolamento acustico rispetto ai doppi vetri (per via dell'intercapedine maggiore); costi contenuti rispetto alla sostituzione dei vetri esistenti con doppi o tripli vetri. Il sistema può essere più costoso di semplici interventi di ristrutturazione, e occorrerà fare attenzione durante l'installazione per non danneggiare i serramenti esistenti, o le persiane esistenti. I doppi vetri rimovibili che vengono rimossi in estate richiederanno un'attenta conservazione e sarà fatta attenzione nel selezionare un sistema che consenta l'accesso alle finestre originali per la pulizia e la manutenzione. Si raccomanda di migliorare la tenuta all'aria del solo telaio interno e mantenere il battente esterno originale per evitare la formazione di condensa tra le due finestre, potenzialmente dannosa per la conservazione della struttura storica dell'edificio.

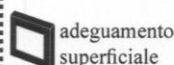
Sinergie e Interazioni

Lo stile e il modo di apertura dell'unità dovrebbe essere visivamente appropriato per la finestra a cui deve essere associato e facile da operare per l'utente finale. La qualità termica di una finestra scatolare può essere migliorata sostituendo la vetratura esistente con una altamente isolante ed efficiente In.7. Tuttavia, non tutte le finestre sono adatte ad accogliere doppi vetri, a causa delle dimensioni o della conformazione irregolare del davanzale interno o per la possibile presenza di persiane interne. Sarà opportuno progettare il serramento aggiuntivo mantenendo un facile accesso alla finestra originale per pulizia e mantenimento.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



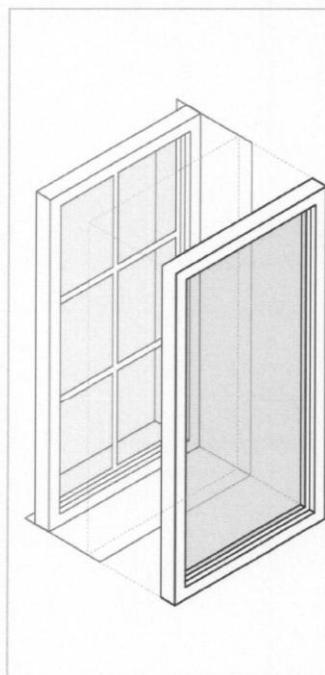
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311/2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.

UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.

UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Inserimento sul lato interno di una seconda lastra di vetro (controvetro)

CS.08

M.05

Principio di funzionamento

La misura prevede la messa in opera di un controvetro fisso o apribile nel vano murario esistente sul lato interno dell'anta mobile con opportuni profili ferma vetro, per migliorare le prestazioni d'isolamento termico e di riduzione delle infiltrazioni d'aria del serramento. Il controvetro, che può essere removibile stagionalmente, consiste in un sistema smontabile e apribile, inquadrato in un profilo metallico di alluminio o acciaio inox, che crea un'intercapedine d'aria per l'aumento dell'inerzia termica. Può essere inserito all'interno o all'esterno: il posizionamento esterno è il più diffuso per ragioni di costi e facilità realizzativa, tuttavia l'installazione interna è più efficiente poiché limita le dispersioni, aumenta la tenuta all'aria ed evita la formazione di condensa.

Applicabilità

L'inserimento di un controvetro o di una doppia finestra permette di ridurre le dispersioni termiche dell'edificio quando le caratteristiche tecniche o le scelte di carattere estetico-storico non consentono la sostituzione del vetro In.8 o dell'intero serramento In.7. È in ogni modo un intervento che altera l'aspetto originario, anche se in misura contenuta.

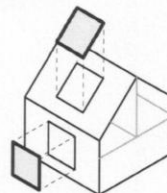
Vantaggi / Svantaggi / Rischi

La sostituzione della finestra comporta: una parziale riduzione del carico termico legato ai serramenti e al tipo di vetro che viene sostituito; una buona riduzione delle infiltrazioni d'aria con un serramento ad alta tenuta. Il beneficio energetico è inferiore rispetto la sostituzione del vetro o dell'intero serramento, ma implica minori problemi di compatibilità e costi d'installazione. Può ridurre la quantità di luce in entrata e il benessere visivo dell'utente: sarà necessario scegliere vetri con indice di trasmissione luminosa superiore a 0,80. Sarà necessario valutare opportunamente la resistenza meccanica del serramento e del vano murario esistente per sopportare il peso del nuovo vetro. Il controvetro apribile è leggero e maneggevole: questo implica deformabilità, delicatezza e ridotta durabilità, problemi di apertura e maneggiabilità. La presenza di un controvetro fisso può incidere sulla ventilazione naturale di un locale.

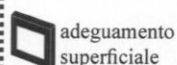
Sinergie e Interazioni

L'inserimento è conveniente in presenza di finestre con vetri singoli o doppi privi di controllo termico, di telai in buono stato di conservazione e di elevate infiltrazioni d'aria. Sono previste operazioni di verifica della capacità del serramento di sopportare il peso della nuova struttura senza danni; è inoltre importante che lo spessore della nuova struttura non impedisca la rotazione del battente. Per migliorare il contenimento energetico è opportuno utilizzare una doppia vetratura con intercapedine riempita d'aria o gas nobile. Il controvetro esterno può essere realizzato con vetro basso-emissivo o selettivo M.5. È importante garantire la compatibilità dimensionale e materica rispetto al vano murario, al rivestimento della facciata e alla presenza di sistemi di schermatura solare. Occorre verificare la perfetta adesione del controvetro sul telaio della finestra: il perimetro deve essere chiuso ermeticamente; è possibile inserire anche delle guarnizioni In.11.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



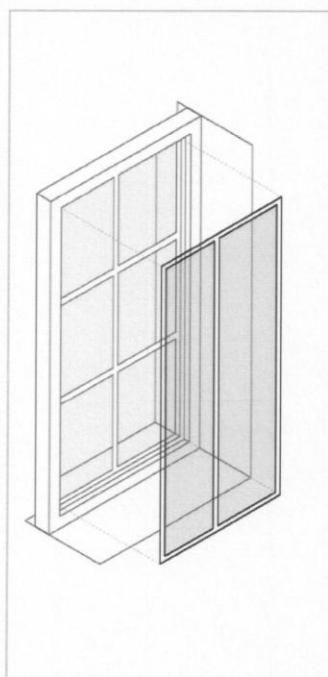
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311.2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.
UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.
UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Isolamento e tenuta all'aria del telaio

Principio di funzionamento

La misura prevede la sigillatura della giunzione tra vano finestra e telaio e l'inserimento di guarnizioni a tenuta all'aria per ridurre le dispersioni d'aria dall'edificio. Le perdite si verificano principalmente nelle zone di chiusura del telaio mobile. Per ottimizzare la prestazione l'infisso deve opporre resistenza alle raffiche di vento, e contemporaneamente essere permeabile all'aria, lasciandola filtrare quando è sottoposto alla pressione atmosferica o quando si crea un differenziale termico tra interno ed esterno della facciata. I sigillanti sono elementi tecnici che aumentano le prestazioni di impermeabilizzazione, tenuta all'aria e isolamento agli agenti atmosferici della finestra. Le guarnizioni sono elementi performanti di natura polimerica che contribuiscono a migliorare la tenuta all'acqua e l'isolamento termoacustico e a ridurre lo sforzo di chiusura delle ante.

Applicabilità

Il miglioramento della tenuta all'aria del telaio mediante sigillatura o inserimento di guarnizioni è un tipo di operazione che più degli altri consente di mantenere invariate le caratteristiche estetiche originarie del serramento. È dunque la più idonea per il restauro conservativo di edifici storici di valore storico-artistico. In ogni caso, è necessaria una valutazione dello stato di conservazione della finestra esistente per definire la fattibilità tecnica e la convenienza economica dell'intervento.

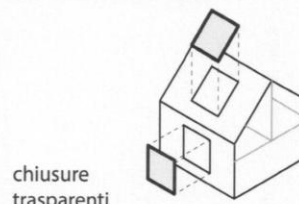
Vantaggi / Svantaggi / Rischi

La riduzione delle infiltrazioni naturali d'aria può raggiungere il 90%, migliorando il comfort termico e la qualità dell'aria interna. Si tratta di un intervento semplice e poco costoso da effettuare sul patrimonio edilizio esistente. Nei serramenti esistenti le prestazioni iniziali decadono con il tempo, specialmente in presenza di problemi di degrado, malfunzionamento o aperture ripetute dell'infisso. È necessario controllare periodicamente lo stato di conservazione e le infiltrazioni d'aria mediante la stesura di un piano di manutenzione.

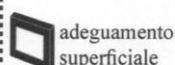
Sinergie e Interazioni

L'intervento è conveniente con vetrazioni dotate di buon isolamento termico e telai in buono stato di conservazione e funzionamento, o se combinati con interventi di sostituzione della vetratura **In.8** o di inserimento di pellicole basso-emissive **In.12**. Per i sigillanti, la scelta del materiale dipende dal tipo di giunto da realizzare, il substrato di applicazione e le sollecitazioni del sistema; è necessario verificare la compatibilità fisica tra i materiali di realizzazione e i sigillanti. Le guarnizioni possono essere realizzate con materiale elastomerico o plastomerico. Risultati ancora migliori per l'isolamento termico si ottengono con guarnizioni perimetrali auto-gonfianti, che aumentano la tenuta all'aria. La tenuta all'aria deve essere verificata periodicamente mediante la definizione di un programma di manutenzione, verificando: l'integrità della vetratura esistente; la corretta chiusura, planarità e sigillatura della giunzione fra telaio fisso e mobile; la corretta chiusura di battenti ed ante; lo stato di sigillanti e guarnizioni esistenti; il corretto funzionamento dei chiavistelli e degli elementi di chiusura.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



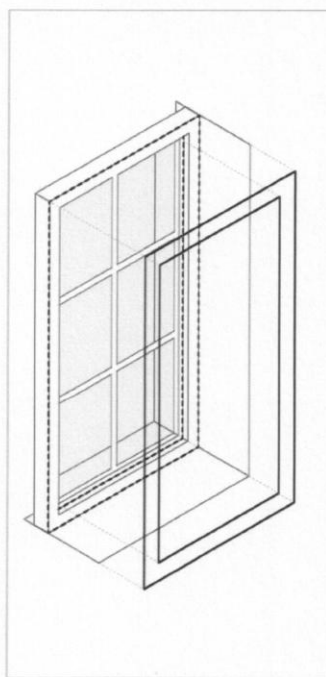
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311/2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.
UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.
UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Applicazione al vetro di pellicole speciali isolanti o captanti

Principio di funzionamento

La misura prevede l'inserimento di pellicole speciali isolanti o captanti (basso emissive/selettive) per migliorare la resistenza termica del vetro e diminuire le dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro trasparente. L'inserimento di una pellicola basso-emissiva, costituita da un deposito di alluminio vaporizzato, consente di aumentare la prestazione termica del vetro riducendo le dispersioni per irraggiamento solare. Il rivestimento metallico riflette la radiazione infrarossa verso l'interno, limitando la dissipazione del calore e mantenendo le condizioni di comfort termico dell'utente. Deve essere inserito nella facciata più interna del serramento.

Applicabilità

L'inserimento di una pellicola speciale è un tipo di operazione che consente di mantenere invariate le caratteristiche estetiche originarie del serramento, poiché la pellicola è trasparente. È dunque la più idonea per il restauro conservativo di edifici storici di valore storico-artistico. In ogni caso, è necessaria una valutazione dello stato di conservazione della finestra esistente per definire la fattibilità tecnica e la convenienza economica dell'intervento.

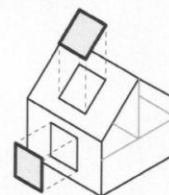
Vantaggi / Svantaggi / Rischi

Le pellicole di nuova concezione riducono le perdite di calore verso l'esterno fino al 30% e durante i mesi estivi riducono il calore solare fino al 70% e l'abbagliamento fino del 80%. Allo stato attuale della ricerca, il beneficio energetico apportato è troppo limitato per rendere l'operazione conveniente, poiché la dispersione del calore dall'interno rappresenta solo una componente di perdita del calore totale di un edificio. Tuttavia in caso di edifici di valore storico-artistico può rappresentare una buona soluzione di compromesso, se abbinata con la sigillatura delle infiltrazioni. La posa della pellicola deve essere eseguita da personale tecnico specializzato: una non corretta applicazione potrebbe generare problemi di aderenza e uniformità del collante, di compatibilità chimico-fisica tra pellicola e adesivo e di durabilità della pellicola. La manutenzione deve essere effettuata con tecniche e prodotti compatibili con la resistenza chimica, fisica e meccanica del materiale.

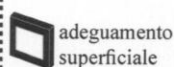
Sinergie e Interazioni

La convenienza economica dell'intervento aumenta con la presenza di una doppia vetratura costituita da vetri *float*, di telai con buone prestazioni di isolamento termico e l'assenza di infiltrazioni d'aria provenienti dalla giunzione tra vetratura e telaio, telaio fisso e mobile, finestra e vano murario. Potrebbe essere necessaria la combinazione con interventi di isolamento e sigillatura delle infiltrazioni del telaio **In.11**.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



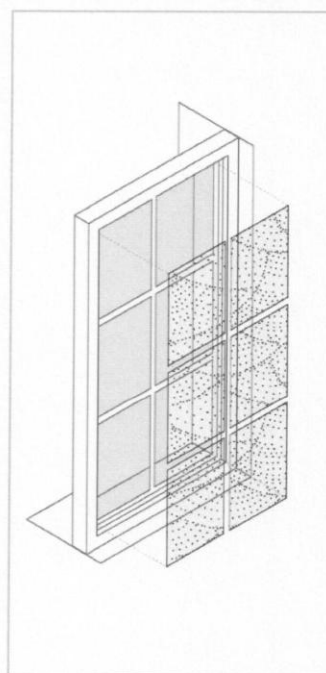
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

D.lgs 311.2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" (i serramenti completi) e dei vetri.
UNI EN 14351-1:2010, Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.
UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento

Principio di funzionamento

La meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento, è un intervento mirato alla regolazione della ventilazione naturale. Consente la gestione da parte dell'utente dell'immissione e/o l'estrazione di aria sotto la spinta di differenze di pressione generate essenzialmente da differenze di temperatura tra interno e esterno e dall'azione del vento. Ciò che normalmente avviene in modo non controllato attraverso porte, finestre e cassonetti, può essere favorito o inibito in funzione di precise scelte progettuali relative alla tipologia e alla disposizione di infissi, condotti, camini, punti di immissione ed emissione. È possibile aumentare la ventilazione naturale attraverso l'uso di dispositivi di apertura meccanici controllati da sensori di anidride carbonica, vapore d'acqua e/o sulla scorta di input di tipo termico provenienti da sensori di temperatura e di pressione. L'apertura e/o la chiusura in comando remoto e domotica di questi dispositivi, su impulso di precisi input di qualità dell'aria e di temperatura e pressione rende la ventilazione naturale, se correttamente progettata, è una modalità di controllo del benessere indoor: efficace, poco invasiva ed energeticamente molto efficiente.

Applicabilità

I sistemi di apertura meccanizzata dei serramenti sono compatibili con edifici privi di vincoli sulle aperture. In alternativa è possibile operare la meccanizzazione delle aperture di cavedi esistenti o l'installazione di cavedi di nuova progettazione. Molti edifici storici hanno impliciti dispositivi di ventilazione spesso in disuso, che possono essere rimessi in dotandoli di controllo intelligente remoto.

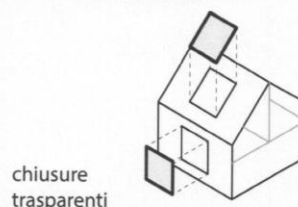
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

I sistemi di ventilazione naturale controllata permettono di regolare il comfort termo-igrometrico e ventilativo degli ambienti interni di un edificio. Inoltre, in ambienti con basso affollamento, si è in grado di controllare la concentrazione di vapore e quindi di evitare la possibilità di condense e formazioni di colonie fungine e muffe con conseguenti problemi estetici e di igiene. La ventilazione naturale ha importanza anche da un punto di vista della sicurezza e dell'antincendio poiché limita la formazione di concentrazioni di gas infiammabili o esplosivi o asfissianti e di composti chimici. Rispetto all'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata, il consumo di energia è legato solamente alla meccanizzazione delle aperture, mentre non avviene nessun pretrattamento dell'aria.

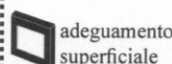
Sinergie e Interazioni

La quantità di aria immessa si deve confrontare con la permeabilità all'aria degli infissi **In.11** e la messa in opera di telai con microventilazione interna, o con l'apertura volontaria, manuale o meccanizzata di condotti e bocche di presa degli impianti di ventilazione e camini di ventilazione **In.26** o l'eventuale installazione d'impianti di ventilazione meccanica controllata (VMC). La qualità e la temperatura dell'aria, in assenza di pretrattamento, può essere controllata tramite il raffrescamento evaporativo con sistemi esterni vegetali **In.22** o vaporizzatori idrici per la caduta d'aria.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



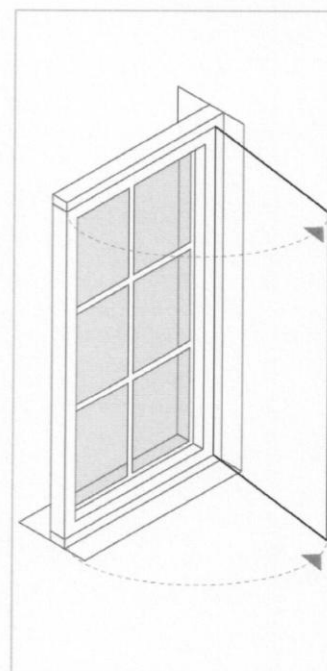
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:

isolare
captare
distribuire

scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN 15251:2008, *Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.*
UNI 10339, *Impianti aeraulici ai fini del benessere.*

Isolamento all'estradosso del solaio inferiore

M.01

M.04

Principio di funzionamento

La presenza di un locale non riscaldato interrato (cantina, garage, locali tecnici) al di sotto del solaio inferiore dell'edificio, consente di applicare lo strato di isolamento in maniera continua sulla superficie di estradosso, migliorando la coibenza termica dell'involucro e riducendo i ponti termici. Il volume d'aria interrato, inoltre, soprattutto se dotato di aperture verso l'esterno, può essere considerato un'intercapedine ventilata che evita la formazione di condensa e, durante la stagione estiva, facilita la formazione moti convettivi che dissipano il calore delle strutture, contribuendo al raffreddamento passivo degli ambienti. Per garantire la reversibilità del sistema, è buona norma utilizzare giunti a secco per i pannelli isolanti.

Lo strato ventilato rende normalmente superfluo l'utilizzo di una barriera al vapore; dato che l'intercapedine evita i ristagni d'acqua, è possibile impiegare sia isolanti impermeabili che materiali igroscopici e fibrosi. Qualora non sia possibile prevedere un isolamento con pannelli isolanti, è possibile ottenere medi risultati di coibentazione anche applicando sulla superficie di estradosso un intonaco termoisolante, con modalità in tutto simili all'intonaco termoisolante su chiusure verticali In.5.

Applicabilità

L'isolamento all'estradosso del solaio inferiore può essere realizzato solo nel caso esistano locali interrati non riscaldati. L'intervento non altera le caratteristiche estetiche dell'edificio; nondimeno, deve essere verificata la sua compatibilità con il sistema tecnologico di fondazione e con gli eventuali impianti. Dato che l'isolamento esterno consente l'uso della struttura portante del solaio come massa termica, la soluzione è ottimizzata per ambienti sottotetto utilizzati e con funzionamento continuo dell'impianto di riscaldamento.

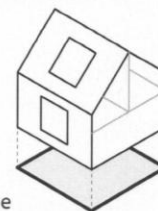
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Se lo strato isolante è all'estradosso, analogamente all'isolamento a cappotto delle chiusure verticali In.4, esso garantisce la riduzione dei ponti termici strutturali, aumentando la temperatura superficiale del solaio; la presenza di locali non riscaldati eventualmente ventilati, inoltre, riduce il rischio di condensa. L'uso di isolante esterno consente di sfruttare l'inerzia termica della struttura portante dell'attacco a terra per stabilizzare le condizioni di comfort interne e ottimizzare il funzionamento dell'impianto di climatizzazione.

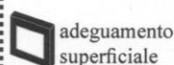
Sinergie e Interazioni

L'isolamento all'estradosso del solaio di inferiore è maggiormente efficace nella riduzione dei ponti termici se abbinato all'isolamento a cappotto delle chiusure verticali In.4 e alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi In.7-8.

unità tecnologica



chiusure
orizzontali
inferiori opache



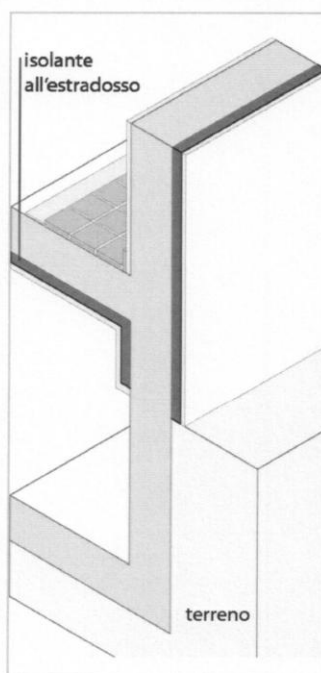
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:
isolare
captare
distribuire
scambiare
accumulare
dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Isolamento all'intradosso del solaio sul terreno

CS.04

M.01

CS.07

M.02

CS.08

M.04

Principio di funzionamento

Nel caso di un solaio posto a diretto contatto con il terreno, l'isolamento può essere realizzato nella superficie interna del solaio, con modalità in tutto simili all'isolamento interno delle chiusure verticali **RI1.3**. Tale intervento permette di ridurre lo scambio termico con il terreno, senza eliminare i ponti termici. Per evitare la risalita capillare di umidità, è buona norma prevedere un'impermeabilizzazione sotto l'isolante ed eventualmente, qualora sia compatibile con il comportamento igrometrico dell'involucro, una barriera al vapore verso l'interno del locale per evitare la condensa superficiale. I pannelli di isolamento vengono aggrappati a secco direttamente sul solaio. Nel caso l'ambiente a contatto con il terreno sia abitato, il materiale isolante deve essere calpestabile e dotato di una buona resistenza meccanica; inoltre, è necessario prevedere una finitura superficiale o una pavimentazione su uno strato di massetto di allettamento. Dato che l'intervento determina una diminuzione del volume utile del fabbricato, è buona norma scegliere materiali isolanti con alte prestazioni anche in presenza di spessori ridotti.

Applicabilità

L'isolamento all'intradosso del solaio rappresenta un'alterazione delle pavimentazioni; può dunque essere realizzato nel caso in cui sia compatibile con i caratteri estetici e tecnologici dei rivestimenti interni. Benché sia meno efficiente rispetto all'isolamento esterno, l'intervento risulta inevitabile qualora l'involucro dell'edificio sia a diretto contatto con il terreno o con un vespaio, in assenza di locali interrati non riscaldati.

Dato che l'isolamento interno esclude l'uso delle murature come massa termica, è preferibile nel caso di ambienti con un uso intermittente dell'impianto di riscaldamento, che entra a regime più rapidamente.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

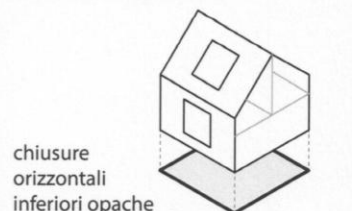
Rispetto all'isolamento esterno, l'isolamento interno presenta maggiori discontinuità e, per la riduzione dei ponti termici, necessita di uno sviluppo maggiore delle superfici da rivestire: il pavimento, più il risvolto sulle facciate verticali di ogni ambiente. Ciò porta ad una diminuzione del volume utile interno e delle altezze, da verificare rispetto ai vincoli di normativa. Inoltre, l'isolamento interno limita l'assorbimento del calore da parte delle masse termiche del solaio di fondazione, aumentando gli sbalzi di temperatura e impedendo il raffrescamento passivo radiativo delle pareti.

Nondimeno, l'intervento è di facile e rapida realizzazione e può essere attuato in maniera selettiva e scaglionata, benché tale modalità aumenti il rischio di condensa in quanto rende fortemente discontinue le proprietà termiche dell'involucro.

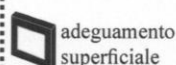
Sinergie e Interazioni

L'isolamento all'intradosso del solaio sul terreno è maggiormente efficace nella riduzione dei ponti termici se abbinato all'isolamento interno delle chiusure verticali **In.6** e alla sostituzione, integrazione o rinnovo degli infissi **In.7-8**.

unità tecnologica



chiusure
orizzontali
inferiori opache



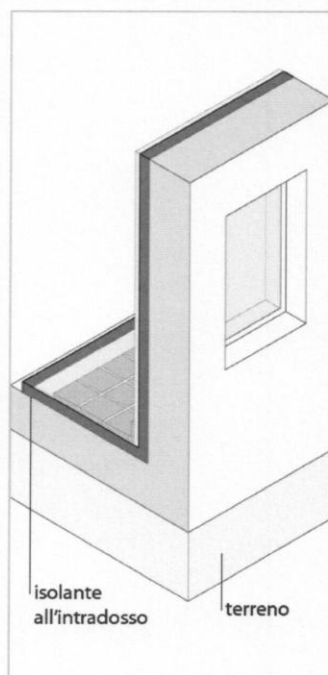
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



isolante
all'intradosso

terreno

azioni:

isolare

captare

distribuire

scambiare

accumulare

dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 10211:2008, Ponti termici in edilizia, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D.M 26.01.2010, Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici.

Realizzazione di barriere fisiche alla risalita capillare

CS.04

Principio di funzionamento

La realizzazione di una barriera alla risalita capillare prevede l'interruzione del passaggio di umidità tramite il taglio fisico della muratura e l'inserimento al suo interno di materiali anticapillari. Il taglio, esteso per brevi tratti ravvicinati per ragioni statiche, viene eseguito a circa 15-20 cm dal suolo con carotatrici, seghe o fili diamantati, a seconda delle caratteristiche costruttive e del grado di deterioramento della struttura: le carotatrici sono adatte per muri di notevole spessore e/o di tipo misto, oppure nel caso in cui siano da evitare urti ed eccessive vibrazioni; la sega viene impiegata soprattutto per la muratura, mentre il filo diamantato risulta utile nel caso di murature molto compatte. Prima dell'intervento, la rimozione dell'intonaco imbibito, interno ed esterno, permette la più rapida evaporazione dell'umidità. Nel taglio si introducono materiali impermeabili quali lamine metalliche piane o ondulate, materiali plastici, manti bituminosi o in vetroresina, malte cementizie impermeabili; nel caso di tagli con carotatrici, piccoli e ravvicinati, si immettono soprattutto materiali fluidi, come cemento o resine; per gli altri tagli possono impiegarsi materiali in lamina. In alternativa al taglio, per pareti di spessore contenuto, è possibile inserire le lamine con un martello pneumatico.

Applicabilità

Il taglio fisico della muratura rappresenta un intervento invasivo rispetto alla statica dell'edificio, sia in fase d'opera (per la possibilità di vibrazioni) sia in fase di esercizio. Inoltre presuppone la rottura, per quanto circoscritta, di una porzione di involucro, per cui può essere realizzato solo nel caso in cui non alteri eccessivamente il carattere storico-artistico della fabbrica. L'intervento risulta più semplice nel caso di pareti di mattoni, in cui il taglio può essere realizzato in corrispondenza dei giunti di malta.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Il sistema del taglio fisico, grazie all'inserimento di materiali anticapillari interposti, garantisce il prosciugamento della muratura nella parte soprastante il taglio e impedisce la nuova formazione di umidità. Nondimeno, l'esecuzione è molto delicata e laboriosa e può comportare notevoli inconvenienti in fase di esecuzione se l'edificio è abitato, soprattutto nel caso di utilizzo di martelli pneumatici. Inoltre, il sistema non contrasta l'imbibimento idrico della muratura al di sotto della barriera a contatto con il terreno; a livello locale la situazione potrebbe anche peggiorare, avendo diminuito la superficie evaporante della muratura. In più, l'alterazione dell'equilibrio idraulico della muratura fino alla barriera può avere conseguenze generali sul comportamento termigrometrico dell'edificio. Altri problemi riguardano la possibile penetrazione della pioggia in corrispondenza del taglio e il mantenimento di percorsi laterali, quali gli intonaci di finitura esterna, per la risalita capillare.

Sinergie e Interazioni

I sistemi di interruzione della risalita capillare possono integrarsi con i metodi di evacuazione dell'acqua in eccesso **In.18** e con la riduzione preventiva della condensa interstiziale e superficiale, attuata tramite il corretto isolamento dell'involucro, in particolar modo utilizzando sistemi a cappotto esterno **In.1-2-4**.

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori opache

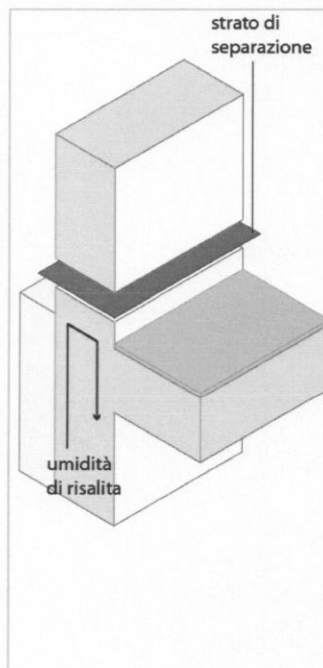


adeguamento superficiale

integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI 10859:2000, Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità.

UNI 11085:2003, Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

Realizzazione di barriere chimiche alla risalita capillare

CS.04

Principio di funzionamento

L'intervento chimico analogamente al taglio fisico In.16, ha l'obiettivo di bloccare la risalita dell'umidità alla base della muratura. In questo caso, la barriera viene realizzata introducendo nella muratura sostanze liquide che vengono assorbite per capillarità e polimerizzano all'interno dei capillari del materiale, costituendo una lastra di separazione, senza però provocare l'inconveniente traumatico del taglio di tutta la muratura perimetrale dell'edificio. I materiali utilizzati hanno effetto idrofobizzante, cioè stimolano il prevalere delle forze di coesione delle molecole d'acqua alle forze di attrazione solido-liquido, con il risultato di evitare la suzione capillare dell'acqua. I principali formulati chimici utilizzati sono silicani, resine siliciche, poliesteri.

Le tecniche di intervento si diversificano in base ai due procedimenti di impregnazione: a lenta trasfusione e a iniezione. I sistemi a lenta trasfusione prevedono l'introduzione del formulato chimico mediante trasfusori, inseriti nei fori realizzati alla base della parete umida; in questo caso, il liquido impregnante viene immesso lentamente, risalendo in parte all'interno della parete per capillarità, e per lo più discendendo per gravità. Il sistema di iniezione a pressione, invece, consiste nell'immissione all'interno della muratura di un formulato diluito in solvente che viene iniettato a bassa pressione mediante una pompa, facilitando l'espulsione dai pori già saturi dell'acqua in essa contenuta.

Applicabilità

Il sistema della barriera chimica è meno invasivo sui caratteri statici della muratura rispetto al taglio fisico; per questa ragione, è maggiormente indicato nel caso di edifici abitati e/o ubicati in aree a elevata densità.

Il metodo a lenta trasfusione viene adottato nel caso le murature non siano eccessivamente umide o presentino elevate quantità di sali; a fronte di una durata consistente del processo, l'effetto di impermeabilizzazione è molto efficace, in quanto la diffusione della soluzione avviene prevalentemente per capillarità e tutti i pori sono resi idrorepellenti.

Per murature continue o compatte si utilizza normalmente l'iniezione, in quanto il liquido tende a diffondersi in maniera più omogenea.

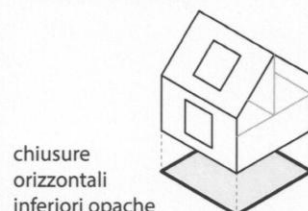
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Analogamente al taglio fisico, la barriera chimica garantisce il prosciugamento della muratura nella parte soprastante e impedisce la nuova formazione di umidità; inoltre, non compromette generalmente la statica dell'edificio. Gli svantaggi sono legati all'onerosità dell'intervento, che può essere imbrattante e deve essere rinnovato periodicamente. In più, il sistema non contrasta l'imbibimento idrico della muratura al di sotto della barriera a contatto con il terreno; a livello locale la situazione potrebbe anche peggiorare, avendo diminuito la superficie evaporante della muratura.

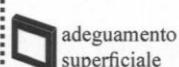
Sinergie e Interazioni

I sistemi di interruzione della risalita capillare possono integrarsi con i metodi di evacuazione dell'acqua in eccesso In.18 e con la riduzione preventiva della condensa interstiziale e superficiale, attuata tramite il corretto isolamento dell'involucro, in particolar modo utilizzando sistemi a cappotto esterno In.1-2-4.

unità tecnologica



chiusure
orizzontali
inferiori opache



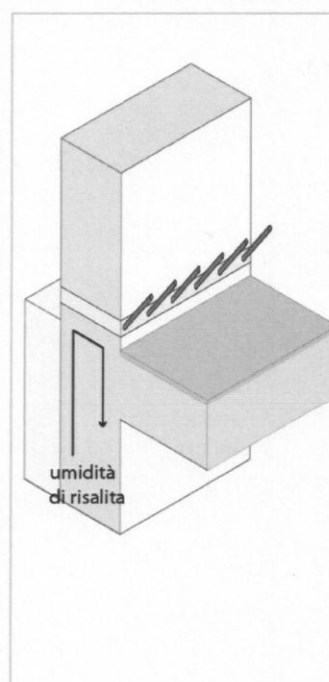
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



umidità
di risalita

azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI 10859:2000. Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità.

UNI 11085:2003. Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

Realizzazione di sistemi di evacuazione dell'umidità

Principio di funzionamento

I sistemi di evacuazione favoriscono la fuoriuscita dell'acqua dalle pareti, aumentando la capacità di evaporazione della muratura tramite intonaci macroporosi, oppure sfruttando la diversa polarità tra muro e terreno per ottenere, attraverso il collocamento di elettrodi, una inversione di tendenza alla naturale risalita capillare.

Il principio su cui si basa la tecnologia degli intonaci macroporosi è quello di aumentare artificialmente la porosità dei normali intonaci con specifici additivi aeranti; sono in genere costituiti da legante idraulico (spesso cementizio), aggregati e additivi pirogeni in polvere. L'intonaco così formulato risulta estremamente poroso con una struttura formata da macropori messi in comunicazione tra loro da una rete di capillari; in questo modo, si rende possibile il trasporto di acqua in fase liquida dall'interno della struttura verso l'intonaco esterno e l'evaporazione dell'acqua quando raggiunge i macropori.

I sistemi elettro-fisici prevedono l'impiego di apparecchiature elettriche per la deumidificazione attiva. Nel muro grezzo viene praticata orizzontalmente una scanalatura di 1-2 cm di profondità in cui vengono inserite sonde conduttrici o un filo continuo di materiale conduttore. I metodi elettro-osmotici consistono nell'invertire la differenza di potenziale che si crea spontaneamente nella muratura mediante l'applicazione di un flusso costante di corrente continua a basso voltaggio, in modo da attrarre l'acqua ed i sali nel sottosuolo, impedendo la risalita dell'acqua nella muratura. Alternativamente, può essere emesso un debole campo elettromagnetico a basso voltaggio che interagisce con la polarità dell'acqua, provocando forze di repulsione che respingono l'umidità verso il terreno attraverso i capillari della muratura.

Applicabilità

I sistemi di evacuazione hanno un'applicazione onerosa e complessa a fronte di un'invasività quasi nulla, che permette di evitare alterazioni al carattere storico-artistico della fabbrica. L'impiego di intonaci macroporosi è efficace nel caso in cui l'umidità di risalita sia dovuta a eventi periodici e gli spessori murari siano limitati; le apparecchiature elettrofisiche hanno un campo di applicazione molto più esteso, ma il loro funzionamento non è garantito soprattutto in presenza di correnti vaganti, quali linee ferroviarie, tranviarie, ecc.

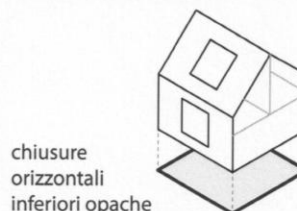
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

I sistemi di evacuazione (soprattutto i sistemi elettrici) offrono buone garanzie di prosciugamento generalizzate e non sono invasivi, non prevedendo opere murarie. Gli svantaggi maggiori sono legati agli alti costi energetici ed economici di esercizio; inoltre, la creazione di campi elettromagnetici può avere un possibile effetto biologico negativo e ha un raggio d'azione inversamente proporzionale alla distanza dalle sonde.

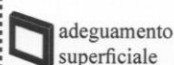
Sinergie e Interazioni

I sistemi di evacuazione sono maggiormente efficienti se abbinati ad un elevato grado di areazione dei locali interni. Possono essere integrati con barriere alla risalita capillare **In.16-17** e con la riduzione preventiva della condensa interstiziale e superficiale tramite il corretto isolamento dell'involucro **In.1-2-4**.

unità tecnologica



chiusure
orizzontali
inferiori opache



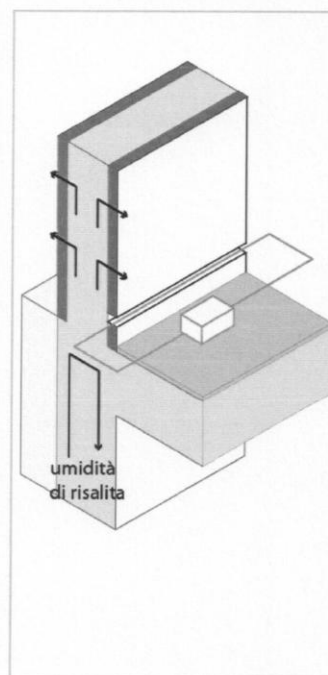
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI 10859:2000, Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità.

UNI 11085:2003, Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale.

Applicazione al vetro di pellicole a controllo solare

M.05

Principio di funzionamento

La misura prevede l'inserimento di pellicole a controllo solare per ridurre il guadagno termico attraverso l'involucro trasparente. La trasmissione luminosa del vetro e della pellicola deve essere tale da garantire il comfort visivo dell'utente, mantenendo un *Fattore di luce diurna* (FLD) superiore al 2%. Le pellicole possono essere di due tipi: film riflettente, con colore argentato e leggermente a specchio, da applicare sulla lastra esterna; film semi-riflettente e leggermente oscurante, da applicare sulla lastra interna perché meno resistente alle intemperie e all'acidità ambientale.

Applicabilità

L'inserimento di una pellicola speciale è un tipo di operazione che più delle altre consente di mantenere invariate le caratteristiche estetiche originarie del serramento, poiché la pellicola è trasparente. È tra le soluzioni più idonee per il restauro conservativo di edifici storici con serramenti di valore storico-artistico. In ogni caso, è necessaria una valutazione dello stato di conservazione della finestra esistente per definire la fattibilità tecnica e la convenienza economica dell'intervento. Poiché blocca quasi totalmente la componente ultravioletta, è particolarmente indicata per edifici che contengono oggetti di elevato pregio artistico. È importante valutare la resa cromatica della pellicola secondo la funzione dell'edificio.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

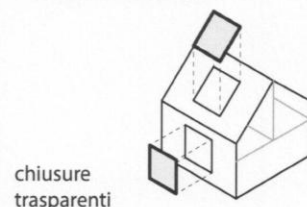
L'inserimento di una pellicola a controllo solare riduce la trasmissione luminosa del vetro in modo significativo (50-60%); sebbene consenta una riduzione quasi totale della radiazione ultravioletta, e un'ostruzione abbastanza buona della componente infrarossa, lascia passare quasi tutta la banda del visibile. Le pellicole hanno resistenze meccaniche, chimiche e di durabilità diverse in relazione al tipo di deposito superficiale: ne va valutata la convenienza di volta in volta.

La posa della pellicola deve essere eseguita da personale tecnico specializzato: una non corretta applicazione potrebbe generare problemi di aderenza e uniformità del collante, di compatibilità chimico-fisica tra pellicola e adesivo e di durabilità della pellicola. La manutenzione deve essere effettuata con tecniche e prodotti compatibili con la resistenza chimica, fisica e meccanica del materiale.

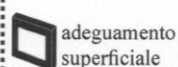
Sinergie e Interazioni

La convenienza economica dell'intervento aumenta con la presenza di una doppia vetratura costituita da vetri *float*, di telai con buone prestazioni di isolamento termico e l'assenza di infiltrazioni d'aria provenienti dalla giunzione tra vetratura e telaio, telaio fisso e mobile, finestra e vano murario. Potrebbe essere necessario la combinazione con interventi di isolamento e sigillatura delle infiltrazioni del telaio **In.11**.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



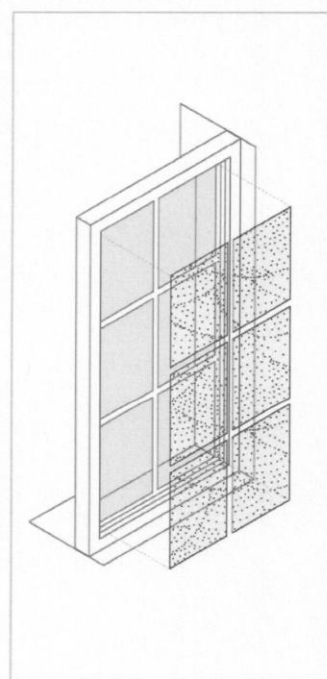
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI TS 11300-1:2008, *Strumenti per il calcolo e la valutazione degli apporti termici durante il periodo estivo; dettagliato quadro mensile dei fattori di ombreggiatura F*.

D. lgs 311.2006: *obbligatorietà d'impiego delle schermature solari per edifici di superficie superiore a 1000 m².*

Valori limite del fattore di luce diurna - fare riferimento alla normativa vigente relativa al tipo di funzione installata.

Installazione di schermi interni

Principio di funzionamento

La misura prevede l'inserimento di sistemi di schermatura solare interni per ridurre il surriscaldamento e controllare l'abbagliamento visivo negli ambienti interni. A seconda dell'orientamento della zona climatica e dell'orientamento della facciata su cui sono applicati devono assumere caratteristiche progettuali differenti. Per ottimizzare l'efficienza energetica è opportuno montare il sistema in prossimità dei vetri.

Nella progettazione del sistema è importante considerare: indice di trasmissione luminosa (τ) e il fattore solare (g) del vetro; *Openness Factor* della schermatura; potenziale formazione di condensa tra vetro e schermatura; resistenza al fuoco.

È importante inoltre scegliere il materiale di finitura delle schermature, valutandone trasparenza e rugosità che condizioneranno le caratteristiche di trasmissione e diffusione della luce solare nell'ambiente.

Applicabilità

L'installazione di un sistema interno di schermatura si integra bene con l'aspetto formale della facciata di un edificio, poiché si tratta di sistemi poco massicci in quanto non devono resistere ai caratteri atmosferici esterni. Generalmente non comporta problemi di fattibilità tecnica. È conveniente in climi caldi e temperati, esposte a sud, est o ovest, in cui siano assenti altri tipi di protezione interna o esterna dai raggi solari.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

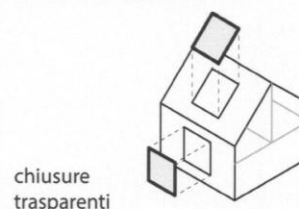
I sistemi interni risultano essere meno efficaci nel ridurre gli apporti termici estivi poiché intercettano la radiazione solare solo dopo il passaggio attraverso la superficie vetrata ed il surriscaldamento della stessa e dei locali interni. Non costituiscono un ulteriore strato per ridurre la dispersione termica dell'edificio. Sono dunque meno vantaggiosi di quelli esterni in termini di efficienza energetica, ma hanno un minore impatto sull'estetica della facciata esterna ed interna, essendo costituiti da materiali di minore impatto visivo. Hanno inoltre costi ridotti. I vantaggi e svantaggi di un sistema di schermatura vanno valutati caso per caso a seconda delle caratteristiche del sistema.

Sinergie e Interazioni

Nella valutazione della convenienza di un sistema di schermatura interna, occorre verificare le caratteristiche energetiche del vetro, la presenza di eventuali pellicole di controllo solare **In.19** o di schermature esterne **In.21**, e la presenza di sistemi di schermatura nell'intorno dell'edificio **In.22**. Nel caso i sistemi esistenti non fossero efficienti a ridurre l'irraggiamento estivo, sarà opportuno dimensionare un sistema esterno.

Alcuni sistemi possono interferire con il comfort visivo dell'utente, mentre altri lo migliorano riducendo i contrasti di luminanza e i fenomeni di abbagliamento. È necessario controllare le caratteristiche di trasparenza delle chiusure trasparenti.

unità tecnologica

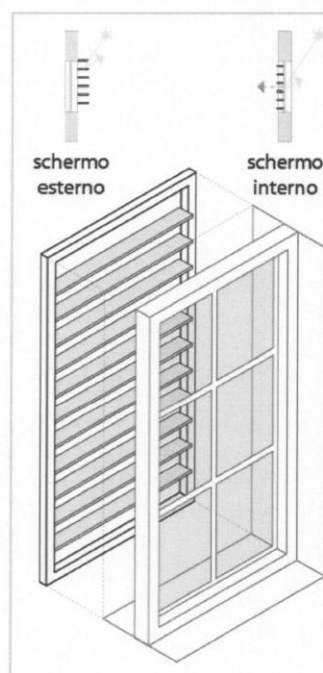


adeguamento
superficiale

integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni:

isolare	scambiare
captare	accumulare
distribuire	dissipare

Riferimenti normativi

UNI TS 11300-1:2008, Strumenti per il calcolo e la valutazione degli apporti termici durante il periodo estivo; dettagliato quadro mensile del fattore di ombreggiatura F .

D. lgs 311.2006: obbligatorietà d'impiego delle schermature solari per edifici di superficie superiore a 1000 m².

Valori limite del fattore di luce diurna - fare riferimento alla normativa vigente relativa al tipo di funzione installata.

Installazione di schermi esterni

CS.01

B.01

B.01

Principio di funzionamento

La misura prevede l'inserimento di sistemi di schermatura solare esterni per ridurre il surriscaldamento e controllare l'abbagliamento visivo negli ambienti interni. Contribuiscono altresì alla riduzione delle dispersioni termiche invernali poiché costituiscono un ulteriore strato di protezione e creano un intercapedine areata tra schermante e involucro. A seconda dell'orientamento della zona climatica e dell'orientamento della facciata su cui sono applicati devono assumere caratteristiche progettuali differenti. Nella progettazione del sistema è importante considerare: indice di trasmissione luminosa (τ) e il fattore solare (g) del vetro; *Openness Factor* della schermatura; classe di resistenza al vento; resistenza meccanica; resistenza al fuoco. Le schermature si distinguono per modalità di gestione (sistemi fissi o mobili, manuali o meccanizzati) sostanzialmente dipendenti dalla destinazione d'uso dell'edificio, e per geometria (orizzontali, verticali, inclinata) in risposta all'esposizione della facciata e quindi all'inclinazione dei raggi solari incidenti.

Applicabilità

L'installazione di un sistema esterno comporta un intervento significativo sull'aspetto formale della facciata di un edificio. È dunque importante valutarne i caratteri estetici e storici, la compatibilità strutturale e meccanica dell'involucro che deve sostenere il peso della schermatura. Il sistema in sé deve garantire idonee prestazioni di resistenza meccanica agli agenti atmosferici, sicurezza anti-effrazione e facilità di utilizzo e manutenzione. È conveniente in climi caldi e temperati, su facciate esposte a Sud, Est o Ovest, prestando attenzione alla destinazione d'uso degli ambienti interni.

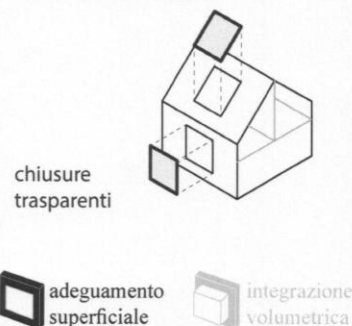
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

Risultano essere i più efficaci nel ridurre gli apporti termici estivi poiché intercettano la radiazione solare prima che questa incida sulla superficie vetrata surriscaldandone la superficie e i locali interni. Tuttavia hanno un maggiore impatto sull'estetica della facciata esterna. I vantaggi e svantaggi vanno valutati caso per caso a seconda delle caratteristiche del sistema. Geometria: gli impianti orizzontali sono vantaggiosi per le facciate meridionali, mentre quelli verticali sono più adatti ad est e ovest, dove i raggi solari sono sempre particolarmente inclinati rispetto allo zenit. Gestione: gli elementi fissi richiedono un dimensionamento specifico rispetto all'orientamento e alle dimensioni dell'ambiente e del serramento, hanno un'efficienza energetica inferiore ma maggiore resistenza e durabilità; gli elementi mobili garantiscono un miglior controllo del comfort termico e visivo, l'efficienza dei sistemi è maggiore in particolar modo se ottimizzata da una rete domotica.

Sinergie e Interazioni

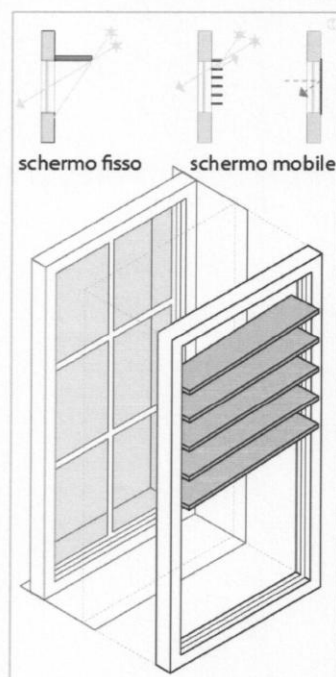
Nella valutazione della convenienza, occorre verificare le caratteristiche energetiche e di trasparenza del vetro, la presenza di eventuali pellicole di controllo solare **In.19** o di schermature interne **In.20**, e la presenza di sistemi di schermatura nell'intorno dell'edificio **In.22**. Alcuni sistemi possono interferire con il comfort visivo dell'utente, mentre altri lo migliorano riducendo i contrasti di luminosità e i fenomeni di abbagliamento.

unità tecnologica



compatibilità reversibilità invasività

B	M	A	B	M	A	B	M	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---



azioni:	isolare	scambiare
	captare	accumulare
	distribuire	dissipare

Riferimenti normativi

UNI TS 11300-1:2008, *Strumenti per il calcolo e la valutazione degli apporti termici durante il periodo estivo; dettagliato quadro mensile del fattore di ombreggiatura F.*

D. lgs 311.2006: *obbligatorietà d'impiego delle schermature solari per edifici di superficie superiore a 1000 m².*

Valori limite del fattore di luce diurna - fare riferimento alla normativa vigente relativa al tipo di funzione installata.

Introduzione di sistemi di ombreggiamento all'interno

Principio di funzionamento

Le strategie di controllo microclimatico esterno presentano un fattore di compatibilità estremamente elevato, poiché migliorano l'efficienza energetica della fabbrica senza alcuna trasformazione diretta; nondimeno, le qualità storico-artistiche dei contesti ambientali degli edifici richiedono un'integrazione anche dal punto di vista compositivo, morfologico ed estetico.

I sistemi di ombreggiamento permettono all'ostruzione e riflessione della radiazione solare, riducendo i guadagni termici delle aree contigue all'edificio e, possibilmente, delle superfici dell'edificio stesso. A causa dei possibili fenomeni di re-irraggiamento, riflessione e assorbimento che possono interessare la radiazione solare all'interno di una complessa morfologia urbana, è necessaria una valutazione dei meccanismi di protezione solare che ne ottimizzi la forma, la posizione e il funzionamento per massimizzare la dispersione dell'energia verso la volta celeste sia durante il giorno, tramite la riflessione della radiazione diretta, che durante la notte, grazie all'apertura dello spazio verso l'atmosfera a temperatura minore.

Le schermature dello spazio aperto si distinguono in naturali e artificiali, oppure in sistemi orizzontali, maggiormente efficaci per schermare i raggi solari provenienti da sud, con un angolo di incidenza elevato nel periodo estivo, o verticali, indicati per la protezione dei bassi raggi provenienti da est e ovest.

Applicabilità

I sistemi vegetali sono particolarmente efficaci in quanto utilizzano la porzione di radiazione solare assorbita per i propri cicli metabolici e i processi di evapo-traspirazione, sottraendo all'aria calore latente evaporativo senza aumento sensibile della propria temperatura, a fronte di un incremento dell'umidità relativa dell'ambiente. I sistemi artificiali di schermatura sono generalmente meno efficaci di quelli naturali, perché riemettono sotto forma di calore parte dell'energia solare assorbita. In base al meccanismo d'uso, si distinguono sistemi di schermatura fissi e mobili. I primi, solitamente meno onerosi in termini di manutenzione e più durevoli, limitano la flessibilità dell'area; i secondi, molto variabili, consentono di ottimizzare guadagni termici e dispersioni stagionali e giornaliere.

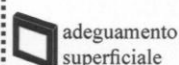
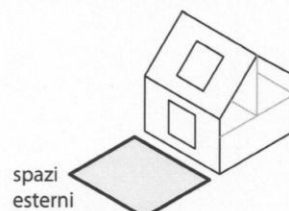
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

I sistemi naturali sono maggiormente onerosi in termini economici e di gestione; per ragioni di ottimizzazione, dunque, si raccomanda l'utilizzo di specie autoctone, che facciano la crescita e il ciclo di foliazione con il clima; solitamente, è anche opportuno impiegare specie caducifoglie, che ottimizzino il comportamento estivo e invernale dello spazio. I sistemi artificiali possono essere maggiormente economici e semplici da mettere in opera e possono integrarsi con la morfologia e con il sistema compositivo dello spazio.

Sinergie e Interazioni

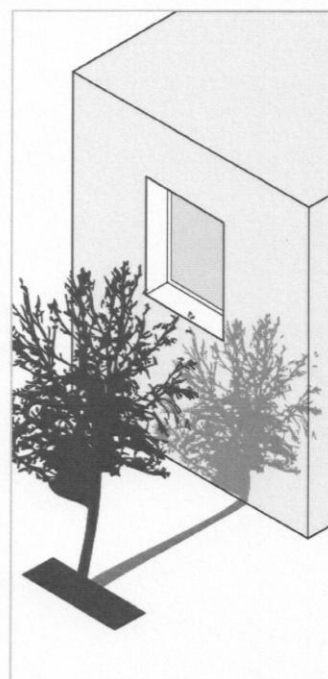
I sistemi di ombreggiamento all'interno possono integrarsi con le schermature integrate con l'edificio, sia interne **In.20**, che esterne **In.21**.

unità tecnologica



compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

-

Applicazione di una mensola di luce (*lightshelf*)

Principio di funzionamento

La misura prevede l'inserimento di una mensola di luce (*lightshelf*) per schermare la radiazione solare e contemporaneamente illuminare in profondità l'ambiente interno. La mensola è un elemento di ombreggiamento fisso interno o esterno, inserito ad un'altezza superiore rispetto al cono visivo dell'utente, che divide in due la finestra. La superficie superiore della mensola è rivestita con materiale riflettente che permette la riflessione diretta e diffusa dell'illuminazione naturale verso il soffitto dell'ambiente e di seguito verso il locale. La mensola funge anche da sistema di schermatura per la parte inferiore della finestra, impedendo il passaggio dei raggi estivi caratterizzati da grande inclinazione.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

I *lightshelves* favoriscono la penetrazione della luce in profondità, evitando la formazione di abbagliamento visivo e riflesso, fornendo luce diffusa ed evitando il surriscaldamento termico attraverso la vetratura. Consentono una distribuzione uniforme della luce naturale nell'ambiente.

L'efficacia del sistema è legata alle condizioni meteorologiche: solo nei giorni di cielo sereno il funzionamento sarà ottimizzato. La mensola deve essere regolarmente mantenuta e pulita al fine di preservare l'efficacia della riflettanza delle superfici. È inoltre necessaria una simulazione del comportamento energetico, luminoso e illuminotecnico per valutare la convenienza del sistema.

Applicabilità

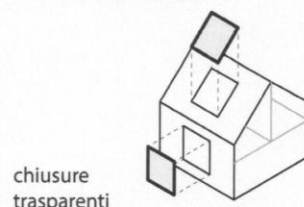
L'installazione di una mensola di luce comporta un intervento significativo sull'aspetto formale della facciata di un edificio. È dunque importante valutarne i caratteri estetici e storici. È inoltre importante valutare la compatibilità strutturale e meccanica dell'involucro che deve sostenere il peso della mensola. È conveniente in climi caldi e temperati in presenza di ambienti caratterizzati da una elevata profondità, su facciate di scarso valore artistico o in forte stato di degrado esposte a sud, in cui siano assenti altri tipi di protezione interna o esterna dai raggi solari, prestando attenzione alla destinazione d'uso degli ambienti interni.

Sinergie e Interazioni

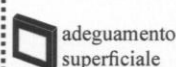
Nella valutazione della convenienza di un sistema di mensole di luce, occorre verificare le caratteristiche energetiche del vetro, la presenza di eventuali pellicole di controllo solare **In.19** o di schermature interne **In.20**, e la presenza di sistemi di schermatura nell'intorno dell'edificio **In.22**.

Il funzionamento è ottimizzato dalla presenza di pareti interne rivestite con colori chiari e riflettenti (cfr. § 4.1.4). L'inserimento di una mensola può comportare la sostituzione dell'intero serramento **In.7**.

unità tecnologica



chiusure trasparenti



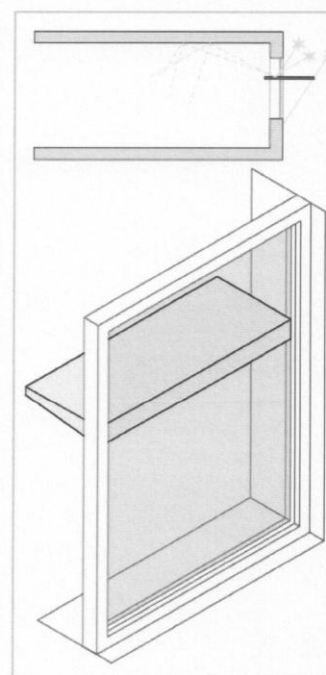
adeguamento superficiale



integrazione volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI TS 11300-1:2008, Strumenti per il calcolo e la valutazione degli apporti termici durante il periodo estivo; dettaglio quadro mensile del fattore di ombreggiatura F .

D. lgs 311/2006: obbligatorietà d'impiego delle schermature solari per edifici di superficie superiore a 1000 m².

Valori limite del fattore di luce diurna - fare riferimento alla normativa vigente relativa al tipo di funzione installata.

Realizzazione di una serra solare

CS.03

M.01

CS.09

M.08

Principio di funzionamento

La serra costituisce generalmente un volume edilizio chiuso da una o più pareti trasparenti contiguo agli spazi interni fruiti dell'edificio, dotato di massa d'accumulo che garantisce l'attenuazione e lo sfasamento dei picchi termici esterni. In maniera differenziata a seconda delle stagioni, funziona come un filtro climatico per stabilizzare la temperatura interna, migliorare l'efficienza energetica e il comfort degli utenti. In inverno, durante il giorno agisce come captatore e accumulatore della radiazione solare per riscaldare gli ambienti dell'edificio, mentre di notte minimizza le dispersioni per trasmissione dell'involucro edilizio. In estate la presenza di sistemi di schermatura e l'apertura totale delle finestre permette l'ombreggiamento, la ventilazione e il raffrescamento dell'ambiente. Nelle notti estive, l'apertura delle finestre crea dei moti d'aria interni, permettendo il raffrescamento sotto forma di scambio radiativo e convettivo delle masse termiche. In base al posizionamento della serra rispetto all'ambiente da riscaldare (cfr. § 4.4.3) al tipo di trasferimento e distribuzione del calore, le tipologie si distinguono in: serra a scambio convettivo (sfruttano lo scambio di convezione tra serra e ambiente interno, attraverso finestre regolabili inserite nella parete di separazione) e serra a scambio radiativo (sfruttano lo scambio di calore radiante tra la parete di accumulo non isolata e l'ambiente interno).

Applicabilità

Comporta un intervento significativo sull'aspetto formale della facciata di un edificio. È dunque importante valutare i vincoli ed i caratteri estetici e storici, la compatibilità strutturale e meccanica dell'involucro che deve sostenere il peso del sistema. È conveniente in climi caldi e temperati su facciate esposte a Sud, Est o Ovest, analizzando latitudine e orientamento della facciata, temperatura media dell'aria esterna e interna dell'ambiente adiacente alla serra, irradianza globale e intensità del vento, ombreggiamento della serra e modalità d'uso degli utenti.

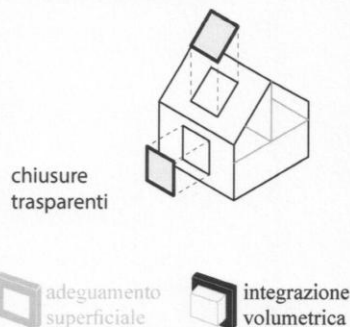
Vantaggi - Svantaggi - Rischi

La serra funziona come un filtro climatico per stabilizzare la temperatura interna, migliorare l'efficienza energetica e il comfort degli utenti. Un sistema correttamente progettato è in grado di minimizzare dispersioni invernali, massimizzare la radiazione captata in inverno, proteggere dalla radiazione estiva, massimizzare le perdite di carico in estate con ventilazione, con conseguenti benefici di risparmio energetico e benessere ambientale. Consente inoltre di ottenere benefici architettonici sia in termini di ampliamento dell'edificio, sia in termini di ripensamento dell'utilizzo degli ambienti, consentito dalle nuove prestazioni.

Sinergie e Interazioni

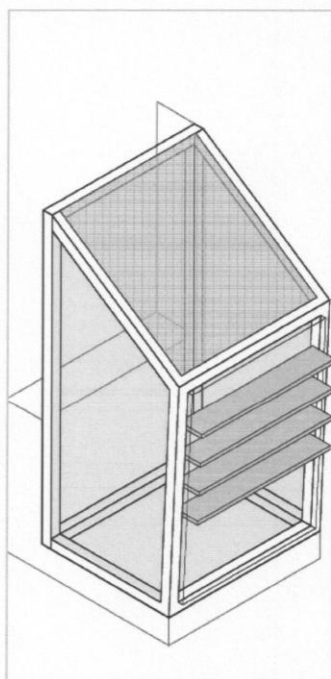
È possibile bilanciare le esigenze usando diverse tipologie di vetratura e schermatura e utilizzando serramenti completamente apribili, che combinino trasmissione luminosa, trasmittanza termica e fattore solare. Il dimensionamento della massa termica è funzione della quantità di radiazione solare incidente e dei tempi di accumulo e rilascio del calore dei materiali. Lo scambio di tipo convettivo tra serra e ambiente interno può essere ottimizzato da elettro-ventole comandate da un termostato, alla base e alla sommità della separazione.

unità tecnologica



compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13790:2008, Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.

Realizzazione di camini di luce / *suntube*

CS.05

Principio di funzionamento

La misura (*corelighting*) prevede la realizzazione di un camino di luce (*suntube*) per trasportare l'illuminazione naturale nei locali interni o ipogei dell'edificio privi d'illuminazione diretta. Il sistema è composto da una testa di captazione, un condotto di captazione ed un'unità diffusore. La testa di captazione posta in copertura che raccoglie la radiazione solare diretta e diffusa convogliandola nel condotto luminoso. Può essere fissa o mobile, costituita da lenti e apparecchiature che, grazie a un motore elettrico, segue il moto apparente del sole. Il cavedio di captazione (esistente o di nuova progettazione) di sezione ridotta, trasporta la luce naturale negli ambienti, sfruttando le caratteristiche di materiali riflettenti e speculari di cui è rivestito. Il fattore di rendimento luminoso (l'intensità luminosa trasferita) dipende dalla forma del condotto (rapporto tra aria di sezione e lunghezza e regolarità del condotto) e dal coefficiente di riflessione del rivestimento interno. I materiali utilizzati sono pellicole riflettenti in alluminio o argento, materiali a riflessione interna totale (*Tir*) o gli *Optic Light Film (Olf)*. L'unità diffusore re-indirizza e diffonde la radiazione solare trasportata, regolando la luce in entrata nell'ambiente ed eliminando eventuali abbagliamenti.

Applicabilità

La misura è applicabile in presenza di locali interni o ipogei non raggiunti da illuminazione diretta, compatibilmente con i vincoli sulla copertura degli edifici di pregio o in presenza di coperture instabili o altamente degradate che vanno sostituite.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

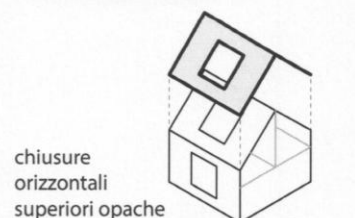
I vantaggi del sistema sono legati alla riduzione di consumi di energia elettrica per l'illuminazione artificiale e al soddisfacimento del benessere visivo da illuminazione naturale per gli utenti. Inoltre rende possibile sfruttare gli ambienti interni o ipogei privi d'illuminazione diretta. Tuttavia il dimensionamento, la progettazione e la realizzazione del sistema sono abbastanza complesse sul patrimonio edilizio esistente.

I sistemi attivi o mobili consentono di massimizzare la radiazione solare captata, ma necessitano di energia elettrica, al contrario dei sistemi passivi o fissi.

Sinergie e Interazioni

È conveniente verificare l'assenza di ostruzioni che creano ombreggiamenti sulle coperture e fare una simulazione del comportamento del camino di luce per verificarne l'efficienza. Il funzionamento è ottimizzato dalla presenza di pareti interne rivestite con colori chiari e riflettenti (cfr. § 4.1.4).

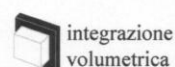
unità tecnologica



chiusure
orizzontali
superiori opache



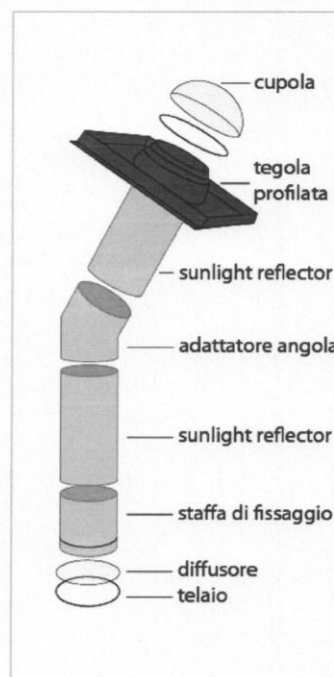
adeguamento
superficiale



integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI TS 11300-1:2008, Strumenti per il calcolo e la valutazione degli apporti termici durante il periodo estivo; dettagliato quadro mensile del fattore di ombreggiatura *F*.

D. lgs 311.2006: obbligatorietà d'impiego delle schermature solari per edifici di superficie superiore a 1000 m².

Valori limite del fattore di luce diurna – fare riferimento alla normativa vigente relativa al tipo di funzione installata.

Realizzazione di un camino di ventilazione

CS.02

CS.05

Principio di funzionamento

L'intervento consiste nell'attivazione di cavedi esistenti o vani di distribuzione, per innescare una ventilazione naturale dell'edificio del tipo "effetto camino". L'effetto camino sfrutta la differenza temperatura dell'aria tra interno ed esterno per estrarre l'aria viziata dagli ambienti ed espellerla verso la volta celeste. Si può ricorrere all'effetto camino fornendo l'edificio di aperture sia in basso che alla sua sommità: l'aria calda salirà naturalmente e uscirà dalle aperture in alto mentre l'aria fredda entrerà attraverso le aperture alla base. La ventilazione con effetto camino, non è molto alta e di norma non si superano i 4-6 rinnovamenti orari dell'aria in un ambiente.

Applicabilità

I camini di ventilazione possono essere attivati in edifici che per conformazione sono dotati di cavedi con sezioni sufficientemente ampie, vani scala, atri, corti chiuse o ulteriori sistemi di connessione verticale. Molti edifici storici hanno impliciti dispositivi di ventilazione spesso in disuso, che possono essere rimessi in funzione dotandoli di controllo intelligente remoto.

Vantaggi - Svantaggi - Rischi

I sistemi di ventilazione naturale controllata permettono di regolare il comfort termo-igrometrico e ventilativo degli ambienti interni di un edificio. Inoltre sono molto utili per evitare stratificazioni d'aria calda nella parte alta degli ambienti interni e questo è importante soprattutto nel caso di spazi con una grande connessione verticale.

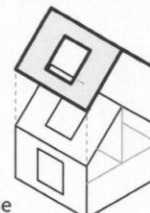
Per la prevenzione antincendi, i rischi derivano dal movimento d'aria ascensionale in vani tecnici che può generare l'accelerazione del processo di combustione in fase di innesco di un incendio nel vano o in locali confinanti e il trasporto di fumi ai locali superiori comunicanti con il vano. Questo procedimento si può ovviare installando chiusure eterne permeabili superiori con modalità d'apertura comandata elettronicamente, in collegamento con sensori di temperatura e rilevatori di fumo, per mantenere il vano sovrappressione (apertura chiusa) durante l'incendio, per poi aprirlo per facilitare l'uscita del fumo, e installando porte resistenti al fuoco e a tenuta d'aria in tutti i locali comunicanti con il vano.

Sinergie e Interazioni

Per una buona estrazione dell'aria è utile che vi siano differenze piuttosto rilevanti tra l'aria calda nella parte più alta dell'edificio e l'aria esterna. Per aumentare queste differenze, si possono integrare sistemi che permettono di aumentare la temperatura nella parte più alta del camino, ad esempio il camino solare. Il funzionamento di questo sistema è basato sulla realizzazione di una camera d'aria sul tetto costituita da un captatore, di colore scuro, coperto da un vetro l'aria che si trova nel camino solare, scaldandosi, diminuisce la sua densità e richiama aria nuova dalle aperture inferiori.

unità tecnologica

chiusure
orizzontali
superiori opache

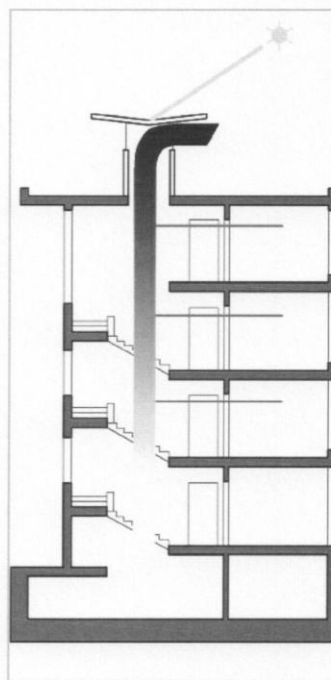


adeguamento
superficiale

integrazione
volumetrica

compatibilità reversibilità invasività

B M A B M A B M A



azioni: isolare scambiare
captare accumulare
distribuire dissipare

Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13790:2008, Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
UNI 10339, Impianti aerulici ai fini del benessere.

4.1.11 Buone pratiche

CS.01 BORSA DI MALTA

ANTE OPERAM



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Rifunzionalizzazione - Efficientazione

LOCALIZZAZIONE: La Valletta, Malta

PROGETTISTI: Architecture Project, Brian Ford & Associates

DESTINAZIONE: Uffici

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XVIII secolo

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2001

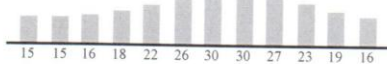
COSTO: 2.470 €/mq

Il progetto ha riguardato la rifunzionalizzazione di una cappella settecentesca per alloggiare la Borsa di Malta. Due ali laterali di vetro e acciaio, staccate dalla struttura originale e perfettamente reversibili, alloggiavano gli uffici e circondando l'atrio centrale per le attività comuni. Mentre gli uffici sono condizionati, l'atrio viene raffrescato per convezione ed evaporazione da un impianto di ventilazione ibrido. Durante il giorno, l'aria entra dalle aperture in copertura e viene raffrescata e umidificata direttamente da ugelli idraulici, oppure in maniera indiretta da serpentine ad acqua refrigerate; durante la notte, l'aria entra dalle griglie inferiori delle facciate est e ovest e viene spinta verso l'alto per effetto camino, uscendo dalle griglie della copertura. La capacità termica dell'involucro stabilizza le condizioni interne, mentre frangisole in legno sulle finestre riducono i guadagni solari.

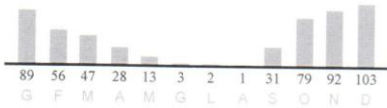
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Csa

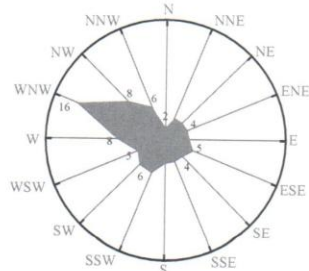
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO

Piccola città

USO

Pubblico
 Privato

TIPOLOGIA (ante-post)

Chiesa - Borsa

MORFOLOGIA

Blocco

TESSUTO

Storico

PROMISCUITÀ

Isolato
 Addossato

CARATTERI ENERGETICI

Consumi per il raffrescamento ante operam: 103.924 kWh

Consumi per il raffrescamento post operam: 54.139 kWh

Risparmio stimato: 3.000 €/anno

FUNZIONI INSTALLATE

Uffici - attività culturali



Interventi sull'edificio



121

Applicazione di schermi esterni

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

veneziane di legno a
lamelle orizzontali;
movimentazione
orizzontale

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica



Impianto di raffrescamento in copertura

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



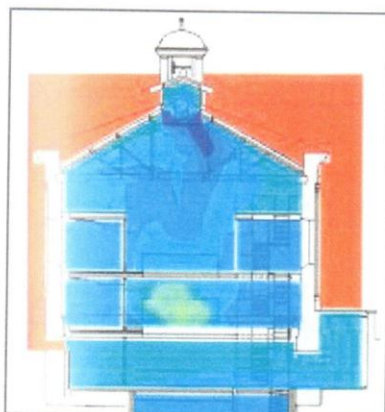
adeguamento
superficiale

materiali

sistema di ugelli idraulici
e serpentine per il
raffrescamento dell'aria
entrante

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica



Ventilazione naturale diurna e notturna

unità tecnologica

chiusure verticali e orizzontali

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



intervento
integrato

materiali

griglie automatizzate in
facciata e copertura per
la ventilazione naturale

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica

CS.02 BORGO RURALE DI PIANEZZO

VISTA GLOBALE



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA: Recupero - Rifunionalizzazione - Efficientazione energetica ed ecologica
LOCALIZZAZIONE: Pianezzo, Canton Ticino, Svizzera
PROGETTISTI: Michele Arnaboldi
DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XVIII secolo
ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2003
COSTO COMPLESSIVO: recupero 473.000 €; nuovo 600.000 €

Innovazione e conservazione sono i capisaldi del progetto di recupero di un antico nucleo rurale nel Comune di Pianezzo, nella Val Morobbia, composto da sette unità, le cui parti più antiche risalgono al diciottesimo secolo. Il progettista valorizza questo antico agglomerato contadino, ormai abbandonato, trasformandolo in un luogo di lavoro e di abitazione, che si inserisce armonicamente in un paesaggio montano incontaminato e con vista sul Lago Maggiore. Un'azione conservativa unita all'innovazione tecnologica sui cinque rustici più antichi, tutti collegati tra loro, ha permesso di inserire gli spazi per l'atelier, le zone espositive e quelle per gli ospiti. Il tipo di intervento "scatola nella scatola", inizialmente, ha avuto delle ripercussioni sul piano amministrativo e burocratico per l'imposizione del vincolo storico, ma alla fine il progetto ha dimostrato di valorizzare e conservare in maniera esemplare la memoria, la storia e la materia di questo tipo di architettura.

DATI CLIMATICI

Zona climatica: E

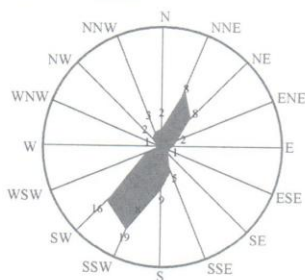
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO

Piccola città

USO

Pubblico
 Privato

TIPOLOGIA (ante-post)

Borgo rurale

MORFOLOGIA

A grappolo

TESSUTO

Isolato

PROMISCUITÀ

Isolato
 Addossato

CARATTERI ENERGETICI

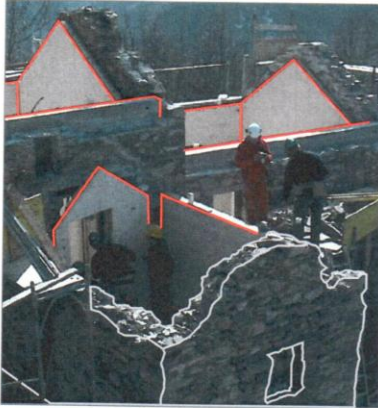
n.a.

FUNZIONI INSTALLATE

Casa atelier + spazi espositivi + lavanderia + stanze per ospiti



Interventi sull'edificio



In.6

Isolamento interno / consolidamento

unità tecnologica

chiusure opache orizzontali e verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



integrazione volumetrica

materiali

struttura interna in legno prefabbricata autoportante ad elevato isolamento

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.9

Serramenti ad alte prestazioni

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento superficiale

materiali

serramenti con vetrocamera a doppio e triplo vetro

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.26

Lucernai in copertura

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



integrazione volumetrica

materiali

Aperture per l'illuminazione e il ricambio d'aria sulle coperture crollate

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

CS.03 CASA ARTUSI

VISTA GLOBALE



LOCALIZZAZIONE



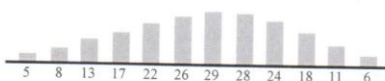
TIPOLOGIA: Recupero - Conversione - Efficienziazione
LOCALIZZAZIONE: Forlimpopoli (Forlì), Italia
PROGETTISTI: N! Studio
DESTINAZIONE: Complesso Museale
DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XIV secolo
ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2005-2007
COSTO: 3.300.000 € complessivi

La struttura si colloca nel centro cittadino di Forlimpopoli in Romagna, entro gli spazi di antiche fabbriche conventuali nell'isolato de' Servi, recuperate e trasformate nel museo della cucina dedicato a Pellegrino Artusi. L'intervento di efficientazione ha riguardato principalmente le chiusure esterne: la presenza di elementi decorativi di pregio sulle facciate ha spinto ad adottare un isolamento interno, a cui è abbinata la sostituzione dei serramenti. L'allestimento degli spazi interni ha voluto differenziare il nuovo intervento dalle strutture esistenti, permettendo sempre una rilettura degli spazi originali dell'edificio. Luogo centrale del progetto è la suggestiva corte d'ingresso: la chiusura dello spazio porticato con un buffer space vetrato, oltre a migliorare le prestazioni termiche del sistema, introduce e connette la città e Casa Artusi.

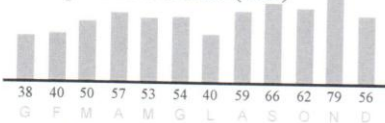
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Csa

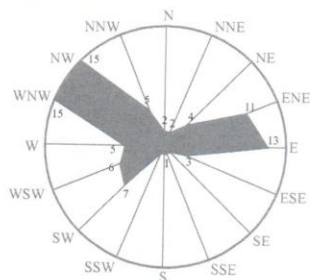
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO

Piccola Città

USO

Pubblico
 Privato

TESSUTO

Storico

PROMISCUITÀ

Isolato
 Addossato

TIPOLOGIA (ante-post)

Convento - Museo

CARATTERI ENERGETICI

n. a.

MORFOLOGIA

Corte

FUNZIONI INSTALLATE

Complesso museale + biblioteca + ristorante + sala corsi



Interventi sull'edificio



In.6

Isolamento a fodera interna

unità tecnologica

chiusure verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

isolamento lungo tutto
il perimetro interno
dell'edificio

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.7

Sostituzione dei serramenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



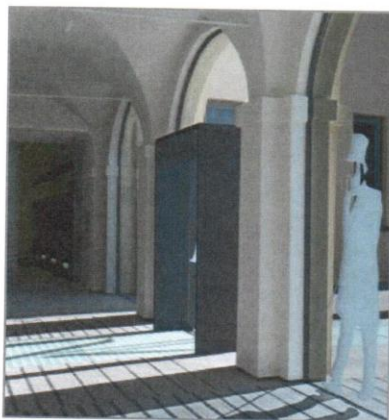
adeguamento
superficiale

materiali

infissi in legno con
vetrocamera a doppio
vetro bassoemissivo

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.24

Serra nell'area di ingresso

unità tecnologica

chiusure verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



integrazione
volumetrica

materiali

chiusura di parte della
corte porticata per
realizzare una serra
vetrata

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

CS.04 CASA BORGHESAN

ANTE OPERAM



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Efficienziazione

LOCALIZZAZIONE: Padova, Italia

PROGETTISTI: Lucia Corti e Elena Rigano

DESTINAZIONE: Residenza

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: 1927

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2008

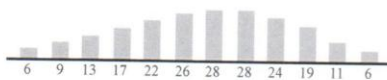
COSTO: 1.200 €/mq

La riqualificazione dell'edificio, risalente al periodo liberty e tutelato, ha coniugato l'ottimizzazione energetica con le necessità di conservazione, raggiungendo la classe energetica A a fronte della salvaguardia del 95% della struttura esistente. Gli interventi di riscaldamento passivo comprendono la riduzione delle dispersioni termiche, attuata attraverso l'isolamento dell'involucro, interno o esterno a seconda delle necessità di tutela del carattere storico-artistico della fabbrica, la sostituzione o il restauro degli infissi per limitarne le dispersioni termiche. Per favorire il raffrescamento e ridurre il ristagno di umidità, viene introdotto uno strato di ventilazione in copertura e un sistema di drenaggio per il piano basamentale, oltre a prevedere un sistema di ventilazione controllata a recupero di calore. La produzione attiva di energia è garantita dall'integrazione di pannelli solari e fotovoltaici sulla falda del tetto esposta a sud.

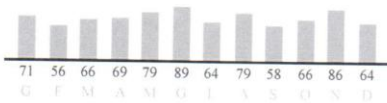
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfa

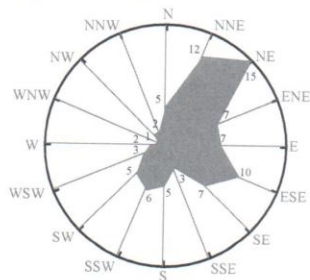
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



USO



TESSUTO



PROMISCUITÀ



TIPOLOGIA (ante - post)

Residenziale (villa isolata)

CARATTERI ENERGETICI

Classe energetica ante operam: G

Energia primaria ante operam: 279 kWh/mq/anno

Classe energetica post operam: A

Energia primaria post operam: 38 kWh/mq/anno

MORFOLOGIA



FUNZIONI INSTALLATE

Residenza



Interventi sull'edificio



In.2

Copertura ventilata

unità tecnologica

chiusure orizzontali superiori

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

20 cm di pannelli di
fibra di legno, guaina,
listellatura per ventila-
zione; coppi esistenti

trasmissione

U: 0,45 Wmq/K

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- ▶ dispersione termica



In.4

Isolamento esterno a cappotto

unità tecnologica

chiusure verticali e orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

12 cm di
isolamento in fibra
di legno

trasmissione

U: 0,40 Wmq/K

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



In.6

Isolamento a fodera interna

unità tecnologica

chiusure verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

6 cm di isolamento in
fibra di legno interno
per preservare le
modanature esterne

trasmissione

U: 0,60 Wmq/K

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica

Interventi sull'edificio



In.9

Sostituzione dei serramenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

serramenti in
legno-alluminio
con vetrocamera
riempita di argon

trasmissione

U: n.a.

- strategie:**
- ▶ contenimento termico
 - ▶ accumulo termico
 - ▶ captazione luminosa
 - schermatura
 - dispersione termica



In.11

Restauro dei serramenti esistenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

sostituzione del vetro
singolo con
vetrocamera;
guarnizioni al neoprene

trasmissione

U: 1,6 Wmq/K

- strategie:**
- ▶ contenimento termico
 - ▶ accumulo termico
 - ▶ captazione luminosa
 - schermatura
 - dispersione termica



In.15

Isolamento all'intradosso del solaio

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

pannelli di fibra di
legno e di vetro
cellulare sotto il
pavimento

trasmissione

U: 0,42 Wmq/K

- strategie:**
- ▶ contenimento termico
 - accumulo termico
 - captazione luminosa
 - schermatura
 - dispersione termica

Interventi sull'edificio



In.9

Sostituzione dei serramenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza **reversibilità** **compatibilità**



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

trasmissione

U: n.a.

materiali

serramenti in
legno-alluminio
con vetrocamera
riempita di argon

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



In.11

Restauro dei serramenti esistenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza **reversibilità** **compatibilità**



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

trasmissione

U: 1,6 Wmq/K

materiali

sostituzione del vetro
singolo con
vetrocamera;
guarnizioni al neoprene

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



In.15

Isolamento all'intradosso del solaio

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori

invadenza **reversibilità** **compatibilità**



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

trasmissione

U: 0,42 Wmq/K

materiali

pannelli di fibra di
legno e di vetro
cellulare sotto il
pavimento

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica

Interventi sull'edificio



In.16-17

Bonifica dell'umidità di risalita

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



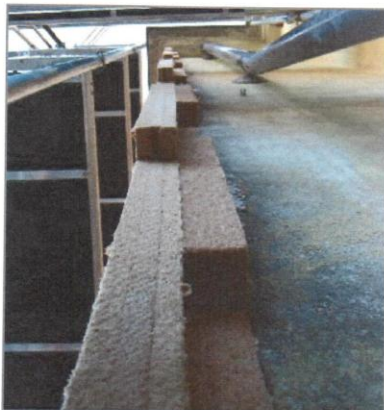
adeguamento
superficiale

materiali

drenaggio in
ghiaione; iniezione
di cemento
osmotico

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica



Impianto di ventilazione controllata

unità tecnologica

partizioni interne - controsoffitti

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
puntuale

materiali

sistema di ventilazione
forzata con recupero di
calore

strategie:

▶ contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
▶ dispersione
termica



Integrazione di pannelli solari

unità tecnologica

chiusure orizzontali superiori

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

pannelli policristallini
fotovoltaici; collettori
termici tubolari
sottovuoto

strategie:

contenimento
termico
▶ accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica

potenza picco
P: 2.795 W(fotovoltaico)

CS.05 CASTELLO DI MORITZBURG

ANTE OPERAM



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA: Recupero - Conversione - Efficientazione

LOCALIZZAZIONE: Halle Saale, Germania

PROGETTISTI: Nieto Sobejano Arquitectos

DESTINAZIONE: Complesso Museale

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: 1290

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 1992

COSTO: n.a.

Moritzburg fa parte dei castelli tedeschi del tardo Medioevo e fu ridotto in rovina durante la Guerra dei Trent'anni. Dal 1904, il museo municipale di arti e mestieri è stato ospitato nell'ala Sud e Est: con questo intervento di recupero, le rovine a Nord e Ovest sono state recuperate per realizzare nuovi spazi espositivi. La copertura, crollata, viene rimpiazzata da un tetto rivestito in alluminio, integrato con lucernai conici disposti in maniera irregolare, prospicienti verso l'esterno e l'interno, in armonia con le esistenti strutture irregolari. La nuova torre distributiva, che sostituisce il bastione sud-ovest, e l'entrata che si proietta oltre la facciata, richiamano formalmente il tetto. Gli interni dell'ala ovest e nord rimangono intatti e vengono consolidati. L'intero primo piano consiste in uno spazio unico che consente grande flessibilità; le passerelle distributive sono appese alla struttura del tetto, senza incidere sull'impianto originale.

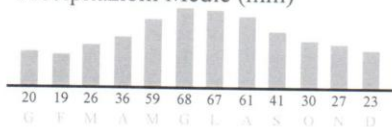
DATI CLIMATICI

Zona climatica: D

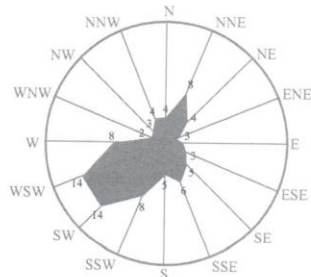
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



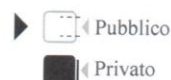
Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



USO



TIPOLOGIA EDIFICIO

Fortezza - Museo

MORFOLOGIA



TESSUTO



PROMISCUITÀ



CARATTERI ENERGETICI

n.a.

FUNZIONI INSTALLATE

Complesso museale + bookshop + caffetteria + parcheggio



Interventi sull'edificio



In.2

Copertura isolata ventilata

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

Rifacimento della
copertura in metallo su
16 cm di isolante
termico

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.25-26

Lucernai e camini di ventilazione

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



integrazione
volumetrica

materiali

aperture vetrate in
copertura per
l'illuminazione e la
ventilazione

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



Ventilazione naturale

unità tecnologica

chiusure verticali e orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

meccanizzazione
delle aperture per la
ventilazione naturale

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

trasmissione
U: 1,5 W/mq/K

CS.06 EDIFICIO PER UFFICI DI RUE FAURIEL

VISTA GLOBALE



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Riconversione - Efficientazione

LOCALIZZAZIONE: Saint Etienne, Francia

PROGETTISTI: Atelier d'Architecture RIVAT

DESTINAZIONE: Uffici

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: 1902

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2012

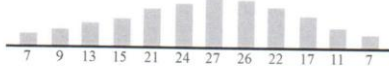
COSTO: 1.000 €/mq

La riqualificazione energetica e la conversione in ufficio dell'edificio della Borsa di Saint Etienne ha previsto l'ottimizzazione del comportamento termoigrometrico dell'edificio, caratterizzato dalla presenza di ampie vetrate verso sud e dalla chiusura della facciata nord. I serramenti esistenti in facciata e copertura sono stati sostituiti con doppi e tripli vetri, che aumentano l'accumulo termico e riducono le dispersioni della facciata; inoltre, è stata prevista la realizzazione di un isolamento interno continuo lungo tutta la superficie dell'involucro, in modo da ridurre significativamente i ponti termici. La climatizzazione è affidata a un impianto geotermico con sonde verticali connesso a una caldaia a pompa di calore; la ventilazione è controllata e si affianca a un sistema di recupero del calore.

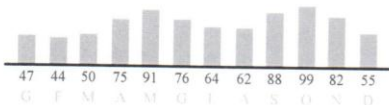
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfa

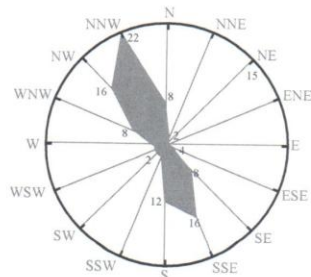
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



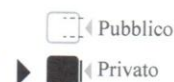
Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



USO



TIPOLOGIA (ante-post)

Borsa - Uffici

MORFOLOGIA



TESSUTO



PROMISCUITÀ



CARATTERI ENERGETICI

Classe energetica ante operam: G

Energia primaria ante operam: 801 kWh/mq/anno

Classe energetica post operam: A

Energia primaria post operam: 33 kWh/mq/anno

FUNZIONI INSTALLATE

Uffici + Attività culturali



Interventi sull'edificio



In.6

Isolamento a fodera interna

unità tecnologica

chiusure verticali e orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

30 cm di lana di vetro
lungo tutto il perimetro
interno dell'edificio

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.8

Sostituzione dei serramenti

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali e orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

serramenti in
alluminio con
vetrocamera a doppio
e triplo vetro

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



Impianto di riscaldamento geotermico

unità tecnologica

partizioni orizzontali interne

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

sonde geotermiche
verticali connesse al
riscaldamento a
pavimento

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

CS.07 EDIFICIO RESIDENZIALE A MONACO

ANTE OPERAM



LOCALIZZAZIONE



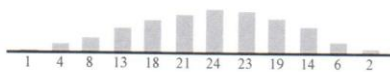
TIPOLOGIA: Recupero - Efficienziazione energetica
LOCALIZZAZIONE: Monaco di Baviera, Germania
PROGETTISTI: Hild und K
DESTINAZIONE: Residenze
DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XVIII secolo
ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2004
COSTO: n.a.

L'edificio, soggetto a tutela e situato nel centro storico di Monaco, ha subito negli anni '90 un restauro non autorizzato molto invasivo, che ha riguardato il rifacimento della facciata, l'aggiunta di stucchi, l'innalzamento di un piano. Nel 2004, è stato avviato un intervento di ripristino delle condizioni originali dell'immobile, integrato con l'aumento delle sue prestazioni termiche. In particolare, dopo aver eliminato le superfetazioni, la coibentazione dell'involucro è stata ottimizzata introducendo uno strato di isolamento interno traspirante, che risolveva sulle chiusure orizzontali inferiori ed è accoppiato all'isolamento esterno degli imbotti delle finestre per limitare i ponti termici di forma. Inoltre, gli infissi originali in legno sono stati restaurati per migliorarne l'isolamento e la tenuta all'aria, mentre i vetri esistenti sono stati sostituiti con doppi vetri bassoemissivi.

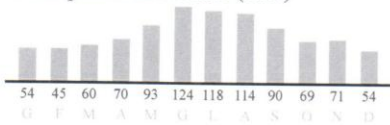
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfb

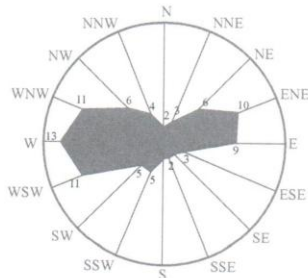
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



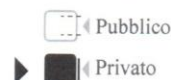
Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



USO



TIPOLOGIA (ante-post)

Residenza

MORFOLOGIA



TESSUTO



PROMISCUITÀ



CARATTERI ENERGETICI

Classe energetica ante operam: G

Classe energetica post operam: B

FUNZIONI INSTALLATE

Residenza + commercio



Interventi sull'edificio



In.6

Isolamento interno

unità tecnologica

chiusure verticali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento

adeguamento
superficiale

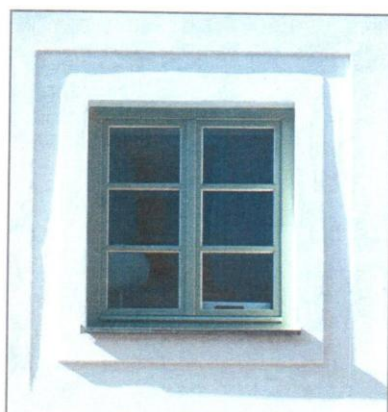
trasmissione
U: 0,3 Wmq/K

materiali

10 cm di isolamento
fibroso traspirante sulla
facciata interna e negli
imbotti

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.8

Vetrocamera nell'infisso esistente

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento

adeguamento
superficiale

trasmissione
U: 1,5 Wmq/K

materiali

integrazione
nell'infisso di legno
di un doppio vetro
bassoemissivo

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.15

Intonaco termoisolante attacco a terra

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento

adeguamento
superficiale

trasmissione
U: 1,5 Wmq/K

materiali

intonaco termoisolante
all'estradosso del
solaio su cantina

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

CS.08 PALAZZO BENATTI

VISTA GLOBALE



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Efficienziazione energetica ed ecologica

LOCALIZZAZIONE: Modena, Italia

PROGETTISTI: Stefano Delli

DESTINAZIONE: Residenze

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XVII secolo

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2007

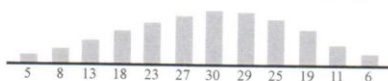
COSTO: 2.000 €/mq

Il recupero di Palazzo Benatti, un edificio storico nel centro di Modena, presenta una forte attenzione per i temi del risparmio energetico e della compatibilità ecologica. A seconda dell'orientamento e del valore storico-artistico delle superfici, la riqualificazione dell'involucro ha previsto l'adozione di uno strato isolante interno, esterno o di un intonaco termoisolante, nel rispetto degli aspetti termoigrometrici della fabbrica; secondo lo stesso principio, i serramenti storici sono stati ristrutturati e integrati con un secondo serramento interno. Gli impianti di climatizzazione sono stati sostituiti da sistemi radianti a pavimento e pareti, alimentati da pannelli solari in copertura. I materiali impiegati sono in massima parte ecocompatibili e implementabili a secco.

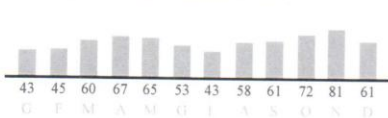
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfa

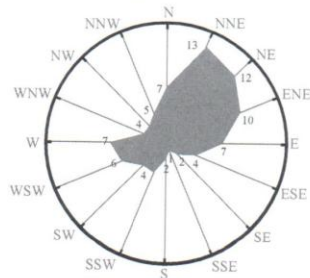
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



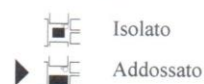
USO



TESSUTO



PROMISCUITÀ



TIPOLOGIA (ante-post)

Residenza

MORFOLOGIA



FUNZIONI INSTALLATE

Residenze



CARATTERI ENERGETICI

Classe energetica ante operam: G

Energia primaria ante operam: 350 kWh/mq/anno

Classe energetica post operam: B

Energia primaria post operam: 45 kWh/mq/anno

Interventi sull'edificio



In.2

Copertura ventilata

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invasione **reversibilità** **compatibilità**
 ■ □ □ ■ □ □ ■ ■ ■

tipo di intervento

■ adeguamento
 superficiale

trasmissione
 U: 0,11 Wmq/K

materiali

incannucciato per la
 ventilazione nel doppio
 strato isolante; riuso
 dei coppi

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- ▶ dispersione termica



In.5

Intonaco termoisolante

unità tecnologica

chiusure opache verticali

invasione **reversibilità** **compatibilità**
 ■ □ □ ■ □ □ ■ ■ ■

tipo di intervento

■ adeguamento
 superficiale

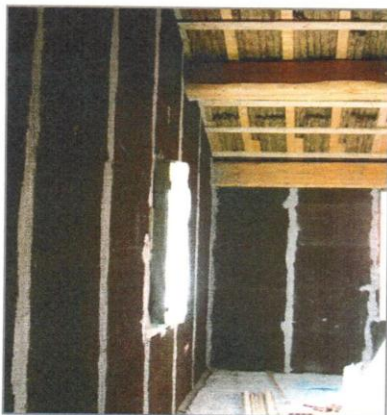
trasmissione
 U: 0,25 Wmq/K

materiali

intonaco a base di
 calce e cocciopesto
 sulla facciata verso il
 cortile interno

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



In.6

Isolamento a fodera interna

unità tecnologica

chiusure opache verticali e orizzontali

invasione **reversibilità** **compatibilità**
 ■ ■ □ ■ ■ □ ■ ■ □

tipo di intervento

■ adeguamento
 superficiale

trasmissione
 U: 0,16 Wmq/K

materiali

10 cm di sughero-
 cocco e uno strato di
 mattoni forati lungo il
 perimetro interno

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica

Interventi sull'edificio



In.10

Secondo serramento interno

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

serramento nel lato
interno dell'esistente
con doppio vetro
bassoemissivo e argon

trasmissione

U: 1,13-1,54 Wmq/K

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



In.15

Isolamento all'intradosso del solaio

unità tecnologica

chiusure orizzontali inferiori

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

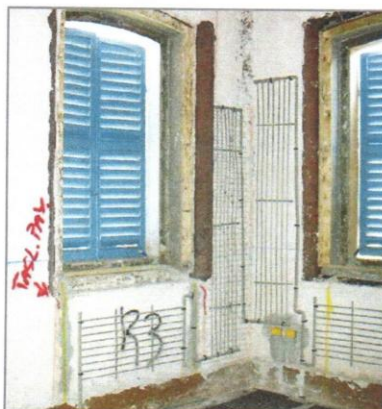
isolamento di sughero
su incannucciato;
finitura in gesso
naturale; posa a secco

trasmissione

U: 0,25 Wmq/K

strategie:

- ▶ contenimento termico
- accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- schermatura
- dispersione termica



Ventilazione naturale e controllata

unità tecnologica

chiusure e partizioni verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



intervento
integrato

materiali

uso del cavetto esistente
come camino; estrazione
forzata con recupero di
calore

trasmissione

U: 0,42 Wmq/K

strategie:

- contenimento termico
- accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- schermatura
- ▶ dispersione termica

Interventi sull'edificio



Impianto di climatizzazione radiante

unità tecnologica

partizioni verticali e orizzontali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

pannelli a pavimento e
parete ad acqua
connessi a una caldaia
a condensazione

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica



Integrazione di pannelli solari

unità tecnologica

chiusure orizzontali superiori

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



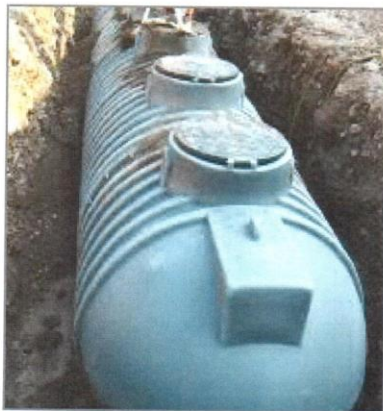
adeguamento
superficiale

materiali

collettori solari
sottovuoto per acqua
calda sanitaria e
impianto radiante

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica



Recupero dell'acqua piovana

unità tecnologica

partizioni orizzontali

invasenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



integrazione
volumetrica

materiali

cisterna interrata per il
recupero e riuso
dell'acqua piovana dai
pluviali

strategie:

contenimento
termico
accumulo
termico
captazione
luminosa
schermatura
dispersione
termica

CS.09 PALAZZO MOZZI BARDINI

VISTA GLOBALE



LOCALIZZAZIONE



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Rifunzionalizzazione
- Efficientazione

LOCALIZZAZIONE: Firenze, Italia

PROGETTISTI: Lombardi

DESTINAZIONE: Museo

DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XIV - XIX secolo

ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2003

COSTO: 145.000 € complessivi

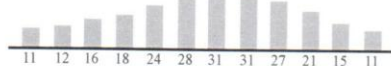
La ristrutturazione dell'edificio ha riguardato il sistema impiantistico e strutturale e l'implementazione di una nuova ala espositiva coperta da una serra solare, che sostituisce il lucernaio in materiale plastico esistente con uno strato di policarbonato riflettente e diffondente che riduce l'abbagliamento. Il controllo solare è stato ottimizzato sostituendo i serramenti con modelli in alluminio verniciato e vetrocamera con pellicola protettiva per la riduzione della radiazione ultravioletta entrante. Il rifacimento della copertura ha comportato l'integrazione di uno strato isolante esterno e un doppio sistema di ventilazione: una microventilazione sottotegola e un'intercapedine ventilata sopra l'isolante.

L'illuminazione artificiale è stata completamente ripensata ottimizzando la morfologia e la finitura interna degli ambienti e la posizione e direzione degli apparecchi a basso consumo.

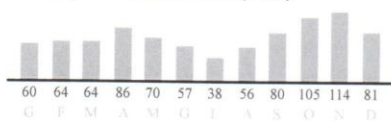
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfa

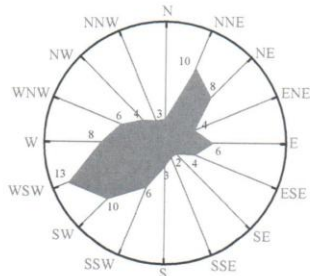
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO



Grande città

USO



► Pubblico



■ Privato

TIPOLOGIA (ante-)

Residenza - Museo

MORFOLOGIA



Blocco

TESSUTO



Storico

PROMISCUITÀ



Isolato



► Addossato

CARATTERI ENERGETICI

Riduzione dei consumi rispetto a un edificio museale standard:

Riscaldamento: 48%
Raffrescamento: 48%
Ventilazione: 26%
Illuminazione: 53%

FUNZIONI INSTALLATE

Attività museali - attività culturali - commercio



Interventi sull'edificio



In.2

Copertura ventilata

unità tecnologica

chiusure orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

ventilazione
microtegola e sottotetto
sullo strato isolante

trasmissione
U: 0,36 Wmq/K

- strategie:**
- ▶ contenimento termico
 - accumulo termico
 - captazione luminosa
 - schermatura
 - ▶ dispersione termica



In.20

Installazione di schermi interni

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

utilizzo di tende interne
per la diffusione
uniforme della luce
naturale

- strategie:**
- contenimento termico
 - accumulo termico
 - captazione luminosa
 - schermatura
 - dispersione termica



In.24

Realizzazione di una serra solare

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali e orizzontali

invadenza reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

vetrocamera con argon e
pellicola a controllo
solare; policarbonato
nel lucernaio

- strategie:**
- ▶ contenimento termico
 - accumulo termico
 - ▶ captazione luminosa
 - schermatura
 - dispersione termica

CS.10 PALAZZO SAN CRISTOBAL

ANTE OPERAM



TIPOLOGIA INTERVENTO: Recupero - Efficienziazione
LOCALIZZAZIONE: Zalla, Spagna
PROGETTISTI: Maruri Arkitektura
DESTINAZIONE: Residenze
DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE: XVIII secolo
ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO: 2012
COSTO: 1.100 €/mq

LOCALIZZAZIONE

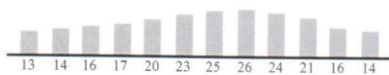


L'edificio è stato riqualificato intervenendo sull'efficienza energetica dell'involucro e sull'implementazione di impianti ad alte prestazioni. A seconda del valore storico-artistico della facciate, è stato integrato uno strato di involucro interno o esterno ed è stata prevista la sostituzione degli infissi con modelli a doppio e triplo vetro. Sulla copertura, completamente rifatta, sono stati installati pannelli solari che forniscono acqua calda sanitaria e, accoppiati ad una pompa di calore geotermica, alimentano il sistema di riscaldamento a pavimento. D'estate, l'elevata massa termica dei solai e delle murature non isolate verso l'interno viene sfruttata per stabilizzare i picchi di temperatura; inoltre, l'organizzazione interna degli ambienti è stata ottimizzata per il raffrescamento convettivo tramite ventilazione passante notturna.

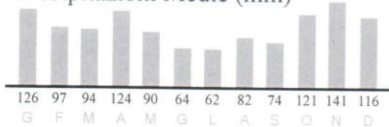
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Cfb

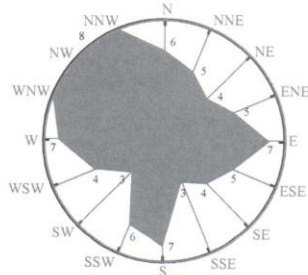
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



POSIZIONAMENTO

Piccola città

USO

Pubblico
 Privato

TIPOLOGIA EDIFICIO

villa isolata

MORFOLOGIA

Blocco

FUNZIONI INSTALLATE

Residenze



TESSUTO

Non consolidato

PROMISCUITÀ

Isolato
 Addossato

CARATTERI ENERGETICI

Classe energetica ante operam: G

Classe energetica post operam: A

Energia primaria post operam: 23 kWh/mq/anno

Consumo di energia finale post operam: 10,4 kWh/mq/anno

Interventi sull'edificio



In.4

Isolamento esterno

unità tecnologica

chiusure verticali

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

isolante esterno a
cappotto per le facciate
non vincolate

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



In.8

Sostituzione degli infissi

unità tecnologica

chiusure trasparenti verticali

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

serramenti con
vetrocamera a doppio
e triplo vetro

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica



Pannelli solari per il riscaldamento

unità tecnologica

partizioni orizzontali interne

invasione reversibilità compatibilità



tipo di intervento



adeguamento
superficiale

materiali

Impianto radiante
alimentato dai
pannelli solari in
copertura

strategie:

- ▶ contenimento termico
- ▶ accumulo termico
- ▶ captazione luminosa
- ▶ schermatura
- ▶ dispersione termica

4.2. Interventi sugli impianti e criteri di restauro

4.2.1 Premessa metodologica

Emerge subito l'esigenza di differenziare dal semplice discorso 'tecnologico' di ristrutturazione, motivato da ragioni d'uso e di economia degli interventi, la peculiare natura dell'intervento sugli edifici storici, che rientra a pieno titolo nel campo del restauro ed è mosso soprattutto da ragioni di cultura e dalla volontà di conservazione e perpetuazione, nella loro autenticità, delle antiche testimonianze edilizie.

Circa i possibili moderni sviluppi dell'impiantistica nel restauro architettonico si sono da più parti raccomandati lavori realizzabili, per quanto possibile, "a secco", sì da evitare qualsiasi tipo d'interventi murari; da qui l'importanza riconosciuta all'impiego dei prefabbricati e ad un preventivo rilievo dello stato di fatto dell'edificio. Si tratta, per esempio, di prevedere accuratamente fori e alloggiamenti di cavi e tubazioni, da contenere nella sezione minima indispensabile; di usare carotatrici e di non effettuare scassi a mano nelle murature, i quali comportano anche la necessità di ritocchi con malta, quindi con un materiale "umido", fonte di qualche complicazione e d'aggravio dei costi. Tutto ciò comporta un'accurata e tempestiva progettazione, un aggiornamento tecnico continuo, una frequente presenza in cantiere del direttore dei lavori. Ancora più bisognosi di specifiche attenzioni sono i lavori impiantistici in zona sismica (aperture di tracce che indeboliscono i setti murari, irrigidimenti - come canne in calcestruzzo armato per ascensori - collocati in posizione asimmetrica ecc.). È bene notare che il restauro non pretende di sviluppare una propria tecnologia, adatta esclusivamente ai monumenti, ma si rifà a quella consueta, con motivazioni e limiti, però, diversi e più ristretti - per le ragioni conservative sopra richiamate - di quelli consentiti dall'opera di semplice recupero edilizio.

Una tipologia d'impianti di forte impatto può essere quella di riscaldamento, per il quale si raccomandano sempre la cura nell'isolamento preventivo del fabbricato o della singola unità abitativa; l'applicazione di sistemi monotubo, quando possibile e preferibilmente in rame; l'impiego eventuale di pannelli radianti a pavimento, oggi pienamente affidabili; una seria riflessione sulle qualità proprie del riscaldamento elettrico, anche in funzione integrativa; le tecniche di recupero, tramite incamicatura o intubazione, di vecchie canne fumarie ecc. Non vanno trascurati, poi, l'impianto antincendio, quello per la captazione dell'energia solare, per il gas, per la distribuzione dell'energia elettrica, quello telefonico, citofonico e parafulmine, le antenne TV, l'ascensore, quello eventuale di depurazione delle acque. Un ragionamento analogo e, forse, più complesso, richiedono gli impianti di condizionamento, raffrescamento e climatizzazione.

Riassumendo, l'adeguamento tecnologico per il riuso degli edifici storici riguarda soprattutto il versante impiantistico (attivo e passivo), per ragioni di benessere e igiene, di sicurezza, infine anche d'eliminazione delle barriere architettoniche. Esso deve rispondere, tuttavia, a *standard* non generici ma calibrati sulla preesistenza; né deve cedere, sempre in caso di restauro, alla tentazione della super-automatizzazione ma prediligere la qualità e la maggiore semplicità, sia nel momento della costruzione sia della gestione e manutenzione. Quest'ultima dovrà essere resa agevole e non comportare mai operazioni di tipo distruttivo.

Le peculiarità dell'intervento sulle preesistenze storiche non possono prescindere dalle considerazioni seguenti:

- a) la definizione del concetto di monumento e il chiarimento delle ragioni stesse del conservare;
- b) l'attenzione preliminare e fondamentale al monumento/documento (d'interesse storico-artistico) da salvaguardare in quanto 'immagine' architettonica e in quanto espressione di 'cultura materiale', vale a dire di tecnica e di sapienza artigianale anch'esse storicizzate e divenute

autentiche ‘testimonianze di civiltà’;

- c) lo studio accurato delle relazioni fra restauro, riuso, recupero e adeguamento funzionale (distributivo, impiantistico);
- d) l'impossibilità d'una vera conservazione senza riutilizzazione del bene architettonico, purché questa sia blanda, ben calibrata, rispondente alle vocazioni, materiali e simboliche, dell'edificio, nel rispetto del concetto di ‘conservazione integrata’ quale risulta dalla *Dichiarazione di Amsterdam* del 1975, promulgata a conclusione dell'anno europeo del patrimonio architettonico;
- e) il dovere di estendere l'attenzione dall'intervento impiantistico (moderno) sugli edifici storici, perché risulti sempre rispettoso, alla tutela delle stesse testimonianze impiantistiche antiche superstiti (si pensi al caso delle cisterne sommitali di Castel del Monte presso Andria od a quelle interrato ed accompagnate da un complesso sistema di filtrazione e distribuzione nel Palazzo Ducale di Urbino, o all'ascensore ottocentesco nell'ex-Ospizio di S. Michele a Ripa in Roma ecc.) riconosciute come valori storico-documentari.

Una serie di problemi, che si può generalmente definire di natura fisico-tecnica ambientale, impiantistica e tecnologica, riguarda, nel caso in esame dell'efficienza e del risparmio energetici, la sua applicazione all'architettura, intesa in sé e come parte del paesaggio, urbano, industriale, agricolo o naturalistico in cui essa viene a collocarsi; riguarda in specie i beni culturali, architettonici e paesaggistici appunto, con quanto ne consegue in termini di metodo e di scelte specifiche finalizzate a garantire il dovere primario, costituzionalmente sancito, della tutela. D'altra parte tali beni ricadono espressamente nella normativa sulla efficacia energetica, applicabile purché essi non ne debbano soffrire “una alterazione inaccettabile” (D.lgs. 311/2006).

Il problema assume quindi diverse facce, la più evidente delle quali è l'applicazione di una nuova specie di ‘impianti’ o ‘impianti tecnici’ (pannelli fotovoltaici, pannelli solari, sonde geotermiche, pale eoliche ecc.) in riferimento ai beni tutelati o, comunque, di valore culturale, dove le operazioni da svolgersi rientrano nell'ambito del ‘restauro’ e dove le finalità prime, pur se non esclusive, sono quelle della ‘conservazione’ e ‘trasmissione al futuro’ (*Carta del restauro M.P.I.*, 1972) di tali beni nelle migliori condizioni possibili.

Sul tema concernente il rapporto fra restauro e impianti la letteratura ha ormai fatto decisivi passi avanti, tuttavia esso ancora oggi risulta meno approfondito e teoreticamente meno fondato, ad esempio, del parallelo rapporto fra restauro ed esigenze di piena accessibilità, vale a dire di superamento delle barriere architettoniche, o anche, come s'è detto, fra restauro e opere di consolidamento strutturale.

Il consolidamento, in specie, da branca minoritaria e negletta della tecnica delle costruzioni (di cui aveva assunto riduttivamente e acriticamente modalità analitiche e di approccio) è diventato una disciplina fornita d'una propria, autonoma dignità scientifica. Basti ricordare che da tali orientamenti di ricerca sono discese le *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, pubblicate, nel 2006, dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e, per altre vie, le più recenti (2008) *Linee Guida per il superamento delle barriere architettoniche nei luoghi di interesse culturale*.

Il rivolgimento culturale e di pensiero di quest'ultimo quarantennio ha dato dunque, in tale campo, i suoi frutti ed ha contribuito a cambiare, in positivo, mentalità e consuetudini inveterate.

Nell'ambito parallelo, del rapporto restauro-impianti, dove fino ad oggi mancavano apposite Linee Guida o, almeno, linee d'indirizzo, si può ancora rilevare un notevole ritardo sotto vari profili,

compreso quello normativo, ma è ormai evidente che da qualche anno, sempre a partire dall'ambito universitario, come nel caso del consolidamento strutturale, si è innescato un processo di ripensamento e di 'rifondazione' disciplinare: prima con riferimento al tema degli impianti (idraulici, di adduzione e smaltimento, elettrici, di sicurezza e comunicazione, di riscaldamento, climatizzazione ecc.), nell'intento di ricondurlo entro l'alveo del restauro e dei suoi ben noti criteri fondamentali: minimo intervento, reversibilità, compatibilità ecc.; ed ora con riferimento ad un uso efficiente dell'energia, al risparmio energetico quindi, al tema delle energie rinnovabili, della sostenibilità e via dicendo. A questo proposito il menzionato concetto di 'miglioramento' contrapposto a quello di 'adeguamento' (alle norme e alle richieste, anche di sicurezza e di *comfort*, attuali), elaborato nel campo del consolidamento strutturale, con ottimi esiti in favore dei beni culturali e della loro tutela, ma senza dimenticare le ragioni di uso, valorizzazione o, se si preferisce, di una intelligente 'conservazione integrata', può essere applicato in modo analogo al tema impiantistico ed energetico.

In altre parole si può ragionevolmente pensare di 'migliorare' la rispondenza energetica (ed il conseguente innervamento impiantistico e tecnologico, attivo e passivo) di un edificio storico (o, fatte le debite differenze, di un 'paesaggio culturale') con accorgimenti appropriati e ben calibrati (in termini, per esempio, di 'sicurezza equivalente' o, più estesamente, di 'prestazione equivalente', o anche accontentandosi di una 'integrazione architettonica parziale', invece che 'totale' - auspicabile piuttosto nel caso d'edifici di nuova costruzione - dell'impianto fotovoltaico, facendo in questo caso sempre affidamento sul continuo sviluppo e affinamento tecnologico, che porta a nuovi tipi di celle, di film sottili, di gamme cromatiche dei pannelli ecc.). Tali, appunto, da non stravolgere il bene stesso, cosa che invece accade quando ci si ponga l'obiettivo, errato alla radice, di 'adeguarlo' in tutto e per tutto alle norme ed alle esigenze odierne, come se si trattasse di una nuova costruzione o anche d'un sito di recente urbanizzazione. Quest'ultimo atteggiamento forzerebbe il bene tanto da renderlo irriconoscibile, distruggerlo nella sostanza, perderne l'identità e le specifiche qualità.

Ecco, quindi, che i medesimi requisiti richiesti all'edificio nel suo complesso ed alle diverse tipologie impiantistiche, come i parametri di benessere fisico facenti capo al controllo del microclima (temperatura ambiente, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria), dell'illuminazione naturale e artificiale, del rumore esterno e interno, degli eventuali inquinanti ambientali, della sicurezza dell'edificio, tanto di ciò che vi è contenuto quanto degli utenti, oltre agli altri requisiti, propri degli impianti, della loro fruibilità, integrabilità, modularità, dell'ingombro limitato, dell'affidabilità, flessibilità, del loro costo iniziale e di gestione (insieme con gli effetti collaterali da non trascurare: emissioni di gas, come il freon; vibrazioni, condense, campi magnetici) entreranno a far parte della 'materia' stessa della progettazione, in termini di compatibilità con la preesistenza e di confronto e ottimizzazione fra requisiti di progetto e requisiti offerti dall'edificio storico oggetto dell'intervento. Ciò in ragione di tutte le singole tipologie impiantistiche: per l'adduzione e deduzione di fluidi, per l'adduzione e deduzione di energia, per il sollevamento e il trasporto di persone o cose, per la protezione degli utenti, per l'accessibilità, per la comunicazione, per la maggiore efficienza energetica e via dicendo. Il tutto al fine dichiarato di minimizzare l'impatto sulla consistenza edilizia storica.

Questa serie d'osservazioni e di problemi aperti, già consistente riguardo ad un impianto piuttosto 'tradizionale' come quello di riscaldamento e, comunque, di non stravolgente impatto architettonico, come anche quello idrico-sanitario, si ripresenta, in forma spontaneamente più complessa, per altri tipi d'impianti e richiede analoga se non maggiore applicazione e flessibilità

progettuale. Si pensi agli impianti di climatizzazione, sotto il profilo dei componenti, del sistema prescelto oppure agli impianti elettrici e illuminotecnici, a quelli di sollevamento e trasporto, di sicurezza, di distribuzione dei gas, di comunicazione (telefonico, citofonico e videocitofonico, televisivo, di diffusione sonora, informatico), fino alle tecnologie passive ed ai cosiddetti impianti bioclimatici (per la riduzione degli scambi di calore, per la captazione di calore, con funzioni sussidiarie) ed, in ultimo, a quelli per l'eliminazione delle barriere architettoniche.

Dopo la fase di progettazione, da condurre accuratamente fino all'esecutivo, si aprono i problemi di conduzione del cantiere, con la responsabilità diretta della direzione dei lavori (che, di norma, nel restauro dovrebbe essere affidata al medesimo progettista) o, almeno, di quella che una volta si chiamava 'direzione artistica'; questo perché, anche a cantiere aperto, non si può dire affatto che la fase progettuale sia esaurita una volta per tutte ma si tratta sempre di confrontarsi con problemi, spesso nuovi e imprevisi, legati a scoperte o anche a difficoltà che possano inopinatamente manifestarsi; quindi d'un continuo progettare anche in fase di esecuzione dei lavori, alle volte con l'inderogabile necessità di variazioni profonde, culturalmente e moralmente indispensabili pur se non riconosciute né assolutamente agevolate a termini di legge dove, più o meno volutamente e coscientemente, si ignorano le differenze fra la costruzione d'un moderno edificio ed il restauro di un'antica architettura.

Il problema di fondo sarà sempre quello della migliore integrazione delle nuove addizioni, anche soltanto impiantistiche, con le preesistenze, sì da non snaturarle e finire col perderne la storicità. Da qui, nell'ovvio rispetto delle esigenze della committenza, sotto il profilo funzionale e d'uso, distributivo e dei costi (comunque dopo averne discusso ed averle vagliate preventivamente, meglio se fin dall'inizio insieme con l'amministrazione di tutela) la necessità d'un approccio progettuale 'integrato', aperto alla partecipazione ed al confronto di più competenze, capace di predisporre plurime alternative sulle quali ragionare in fase di cantiere. Potrebbero emergere esigenze particolari, come quelle d'un difficile accesso a certi ambienti o vani (da cui, per esempio, l'opportunità di valutare l'impiego di tubazioni flessibili, in rame o in appositi materiali sintetici), di una drastica riduzione delle sezioni (da cui, nel caso d'un impianto di riscaldamento, il passaggio ad un sistema di tubazioni adatte al trasporto di fluidi ad alta pressione), dell'impossibilità o del divieto (finalmente oggi sempre più esteso) di effettuare 'tracce' murarie, da cui la necessità d'una soluzione impiantistica a vista (quindi da curare sotto il profilo della scelta dei materiali, dei colori, del complessivo design). Anche se tutto sarà stato preceduto da un'accurata, preliminare selezione di sistemi e componenti, definizione dei percorsi, ricerca di vani e cavedi eventualmente occultati, calibratura delle sezioni occorrenti, dislocazione delle centrali termica, frigorifera, di trasformazione elettrica, idrica e antincendio, dall'analisi dei problemi di manutenzione che si prospetteranno nel futuro (da cui lo studio dell'accessibilità agli impianti, della loro piena agibilità, della facile sostituibilità di parti o elementi), dallo studio per l'eventuale recupero degli impianti esistenti, in termini di restauro e rimessa in uso o, in subordine, della loro sola conservazione testimoniale, non si potrà comunque mai essere sicuri d'aver previsto tutto. Al contrario, l'unica certezza sarà quella di dover, prima o poi, incontrare sicure sorprese, alle volte positive, altre volte no, il che comporta l'esigenza di organizzarsi per affrontare i più vari ed assolutamente 'naturali' imprevisi.

Per questo la progettazione di restauro comporta un lavoro metodico che contempla, in primo luogo, la più approfondita conoscenza diretta del manufatto ed una parallela analisi del suo stato di conservazione. Tutto ciò prima di arrivare al vero e proprio progetto generale di restauro architettonico ed, al suo interno, senza arbitrarie separazioni, a quello impiantistico. Questo avrà

sicure interferenze con le scelte distributive e funzionali, con quelle propriamente conservative (per esempio, relative al mantenimento o no di un tramezzo, d'un controsoffitto o anche d'un pavimento, destinato, per esempio, ad essere rimosso per ragioni di consolidamento del sottostante solaio), quindi anche con quelle strutturali e di miglioramento o adeguamento antisismico del manufatto. Dall'interferenza delle diverse esigenze e delle conseguenti scelte e necessità di progetto, potrebbero emergere possibilità interessanti o, altrimenti, insperate per la definizione del progetto impiantistico e per il contenimento della sua naturale invasività.

4.2.2 La produzione di energia termica

E' evidente che il miglioramento delle prestazioni energetiche di un sistema edificio-impianto non può non prevedere interventi sull'impianto, a meno che particolari vincoli storici, architettonici o funzionali non li rendano sconsigliabili o irrealizzabili. Qui di seguito sono presentate le caratteristiche di alcune tecnologie per la produzione di energia termica.

L'energia termica necessaria per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria può essere attualmente prodotta in caldaie che hanno prestazioni molto elevate sia a carico nominale che a carico parziale, rispetto alle caldaie tradizionali. Tra queste vanno ricordate:

- caldaie a tiraggio forzato e camera stagna, nelle quali vengono praticamente annullate le perdite di energia termica al camino e recuperate quelle attraverso l'involucro;
- caldaie a temperatura scorrevole, che sono in grado di variare la temperatura dell'acqua di mandata in funzione delle condizioni climatiche esterne, riducendo tutte le perdite. Richiede una attenta progettazione dello scambiatore di calore acqua-fumi per evitare che la temperatura superficiale sul lato dei fumi si abbassi troppo.
- caldaie con bruciatore a irraggiamento, caratterizzate dal fatto che comburente e combustibile (aria e gas perfettamente premiscelati) si distribuiscono uniformemente su una superficie porosa ceramica o metallica, resa incandescente. Queste caldaie presentano una bassa produzione di NOx.
- caldaie modulari, costituite da un sistema di caldaie di piccola taglia in parallelo tra loro, in numero tale da produrre complessivamente l'energia termica che sarebbe prodotta da un'unica caldaia. In questo modo, al ridursi del carico è possibile spegnere una o più caldaie e far funzionare le rimanenti in condizioni vicine a quelle nominali, aumentando così il rendimento complessivo.
- caldaie a condensazione, che lavorano con temperature di ritorno dell'acqua inferiori a 50 °C, così che il vapor d'acqua presente nei fumi possa condensare rendendo quindi possibile il recupero dal calore latente di evaporazione. Tenendo presente la disponibilità di questa energia termica recuperata, il valore del rendimento della caldaia risulta pari a circa 108%. Queste caldaie, che devono essere realizzate con materiali resistenti agli acidi, la cui presenza è legata alla formazione della condensa, possono essere abbinata a impianti di riscaldamento a bassa temperatura.
- caldaie a biomassa, che convertono l'energia chimica delle biomasse, di cui si parlerà nel seguito, in energia termica disponibile attraverso un fluido termovettore. Utilizzano sostanzialmente la stessa tecnologia delle caldaie tradizionali.

4.2.3 La produzione di energia frigorifera

Per produrre energia frigorifera si utilizzano i gruppi frigoriferi, che sono macchine termiche che operano a ciclo inverso. Il gruppo frigorifero a compressione di vapore è costituito dai seguenti componenti: il compressore, il cui tipo dipende dalla potenza della macchina (per potenze crescenti: scroll, vite, centrifugo); il condensatore, raffreddato ad acqua o ad aria, in cui avviene la cessione di energia termica alla sorgente calda; il dispositivo di laminazione; l'evaporatore, dove avviene la sottrazione di calore a bassa temperatura con produzione di freddo. In funzione della tipologia del fluido utilizzato per cedere il calore di condensazione all'esterno, i gruppi frigoriferi si dividono in gruppi con condensazione ad acqua o ad aria. Gli intervalli di efficienza per i gruppi frigoriferi risultano funzione sia della tipologia di compressore che del tipo di fluido per la cessione del calore di condensazione all'esterno.

4.2.4 La produzione di energia termica e frigorifera

Per produrre energia sia termica che frigorifera si utilizzano le pompe di calore, elettriche e a gas, delle quali qui vengono forniti i principi di funzionamento per i non addetti ai lavori. Il testo è integralmente tratto dal *position paper* di AiCARR che l'Associazione ha pubblicato nel 2011 come commento al DLgs 28/11 e che è disponibile sul sito www.aicarr.org.

La pompa di calore è una macchina a ciclo inverso e, come tale, permette di trasferire energia termica da una sorgente a temperatura minore a una a temperatura maggiore, invertendo lo scambio naturale, così come mostrato in *Figura 7*. La differenza tra frigorifero e pompa di calore non è di natura termodinamica, ma dipende solamente dal punto di osservazione: se si osserva il sistema dal punto di vista della sorgente fredda si vede un frigorifero, mentre se lo si osserva dal punto di vista della sorgente calda si vede una pompa di calore. Il funzionamento della pompa di calore richiede che sia fornita energia al sistema. Questa energia può essere meccanica, nel qual caso si parla di macchine a compressione, oppure termica, e si parla di macchine ad assorbimento.

Le pompe di calore a compressione possono essere alimentate con energia elettrica oppure con combustibile, ad esempio metano, bruciato in un motore che produce energia meccanica o energia elettrica se accoppiato con un alternatore. In questo secondo caso è possibile recuperare anche l'energia termica del raffreddamento del motore e quella dei fumi di scarico. Questi sistemi sono detti Total Energy.

La Direttiva 28/2009/UE che stabilisce il quadro comune europeo per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili, tra le fonti non fossili (eolica, solare, geotermica, idrotermica, a biomassa) esplicitamente annovera l'energia aerotermica quella accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore. In questa ottica, la quota di energia rinnovabile utilizzata da una pompa di calore viene calcolato secondo quanto disposto dalla Direttiva e dal suo recepimento italiano, il Decreto Legislativo 28/11.

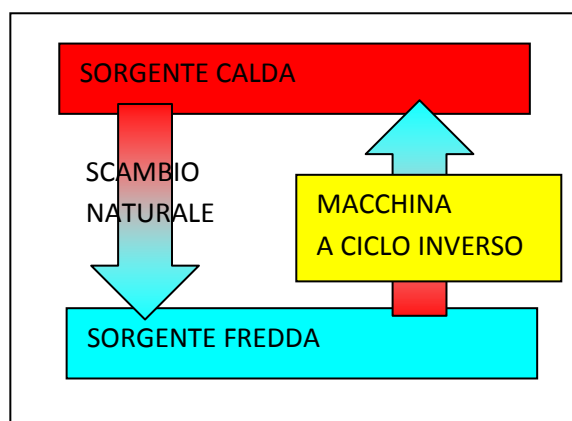


Fig. 7 - Schema di una pompa di calore con indicazione dei versi dello scambio termico.

4.2.5 La pompa di calore a compressione

La Figura 8 mostra un ciclo frigorifero nella sua conformazione di base, caratterizzata da quattro elementi fondamentali:

- il compressore;
- il condensatore, ovvero lo scambiatore di calore tra il fluido refrigerante e la sorgente calda;
- l'organo di laminazione, che nelle macchine frigorifere per la climatizzazione è quasi sempre costituito da una valvola termostatica;
- l'evaporatore, ovvero lo scambiatore di calore tra il fluido refrigerante e la sorgente fredda.

Nell'evaporatore il fluido refrigerante si trova a una temperatura inferiore a quella della sorgente fredda, per cui si ha un trasferimento naturale di calore dalla seconda al primo. Viceversa, nel condensatore il fluido refrigerante si trova a una temperatura superiore a quella della sorgente calda alla quale cede energia termica.

Lo scambio termico dalla sorgente fredda a quella calda avviene, quindi, attraverso due scambi naturali: il primo nell'evaporatore, dalla sorgente fredda al refrigerante, e il secondo nel condensatore, dal refrigerante alla sorgente calda. Compressore e organo di laminazione hanno lo scopo di portare il refrigerante nelle condizioni richieste per consentire i due scambi termici.

Come è intuibile dal nome degli scambiatori, lo scambio termico avviene attraverso un cambiamento di fase del refrigerante che passa dalla fase vapore a quella liquida nel condensatore e dalla fase liquida a quella vapore nell'evaporatore. Ovviamente, questi cambiamenti di fase devono avvenire a temperature diverse, più elevata quella al condensatore, più bassa quella all'evaporatore. Ad esempio, in un refrigeratore condensato ad aria, che produca acqua a 7 °C con aria esterna a 35 °C, la temperatura di cambiamento di fase all'interno del condensatore (temperatura di condensazione) è di 50 °C e la temperatura di cambiamento di fase all'interno dell'evaporatore (temperatura di evaporazione) è di 2 °C. Si ricorda che i cambiamenti di stato possono avvenire a temperature diverse: per esempio, l'acqua evapora a 100 °C solamente se si trova alla pressione atmosferica; se la pressione è inferiore, evapora a temperatura inferiore, viceversa, se la pressione è superiore a quella atmosferica, l'evaporazione avviene a temperatura maggiore.

Nel condensatore e nell'evaporatore il refrigerante si trova anche a due pressioni diverse, maggiore quella nel condensatore: tali valori dipendono dal tipo di refrigerante. La funzione del compressore consiste appunto nell'innalzare la pressione del refrigerante dal valore di evaporazione a quello di condensazione, mentre l'organo di laminazione ha la funzione contraria. In pratica, dal punto di

vista delle pressioni, il circuito è diviso in due parti: a valle del compressore fino a monte dell'organo di laminazione si trova in alta pressione, a valle dell'organo di laminazione fino a monte del compressore si trova in bassa pressione, come schematizzato in Figura 8.

Quindi è possibile un trasferimento di calore dalla sorgente fredda, a temperatura inferiore, alla sorgente calda, a temperatura superiore, solamente se si fornisce al sistema l'energia necessaria per comprimere il refrigerante dalla pressione di evaporazione a quella di condensazione.

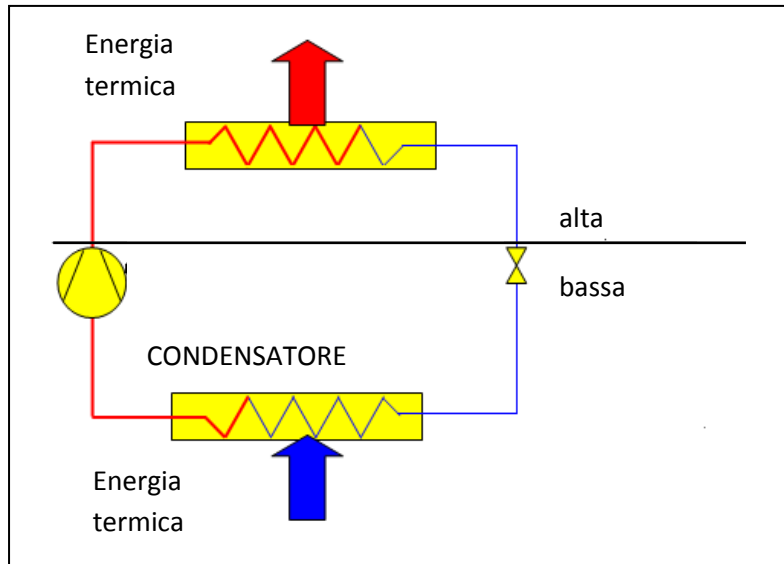


Fig. 8 - Pompa di calore a compressione

4.2.6 Le pompe di calore ad assorbimento

Una macchina ad assorbimento è costituita da quattro componenti principali, come mostrato in Figura 9. In particolare, evaporatore e condensatore hanno posizione e scopo uguali a quelli dei cicli a compressione e sono ancora posti a contatto con le due sorgenti, fredda e calda, alle quali rispettivamente sottraggono e cedono energia termica, grazie al cambiamento di fase del refrigerante. Il compressore è sostituito da un organo denominato generatore, che si trova direttamente a contatto con la fonte di energia termica. L'organo di laminazione, che in genere nella macchina a compressione di vapore è una valvola termostatica, è sostituito da un organo denominato assorbitore.

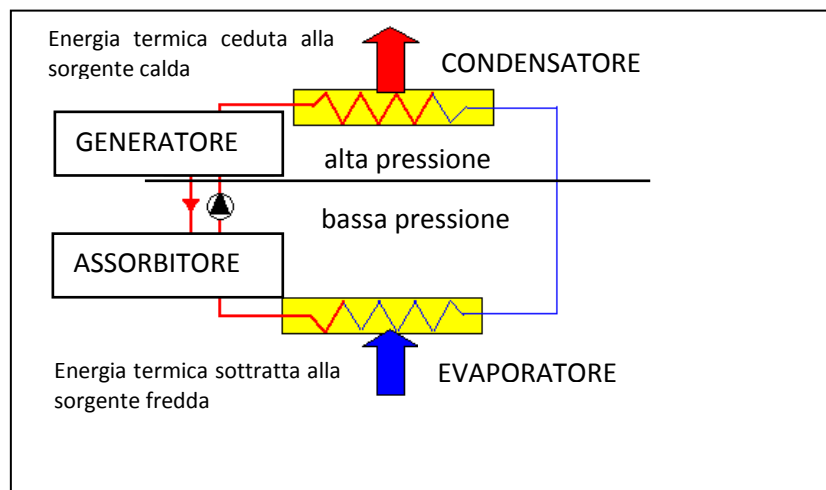


Fig. 9 - Ciclo frigorifero ad assorbimento

All'interno del circuito vi è una miscela di due componenti, uno con funzione di refrigerante e l'altro con funzione di assorbente. Nel generatore viene fornita energia termica alla miscela, quindi il refrigerante evapora e si separa dal fluido assorbente, passa nel condensatore, all'interno del quale torna liquido, per poi evaporare nuovamente a bassa pressione nell'evaporatore. L'assorbente, invece, passa dal generatore all'assorbitore, dove si ri-miscela con il refrigerante in fase vapore, mantenendo così bassa la pressione all'interno dell'evaporatore.

Il circuito frigorifero è diviso in due parti distinte, una ad alta pressione, contenente il generatore e il condensatore, e una a bassa pressione, contenente l'evaporatore e l'assorbitore.

Esistono varie tipologie di gruppi frigoriferi ad assorbimento. Una classificazione può essere effettuata sulla base della fonte di energia termica e un'altra sulla base della miscela contenuta all'interno del circuito frigorifero.

L'energia termica può essere fornita:

- da una fiamma diretta, bruciando direttamente combustibile nel generatore;
- da vapore;
- da acqua calda, purché a temperatura superiore a 75 °C.

Per quanto riguarda la miscela, le soluzioni che, in linea teorica, possono essere utilizzate, sono molte. In pratica se ne usano solo due:

- acqua – bromuro di litio;
- ammoniacca – acqua.

Delle due sostanze che formano la miscela, ovviamente una svolge la funzione di refrigerante, mentre l'altra quella di assorbente. Nella fattispecie, nella miscela acqua-bromuro di litio l'acqua funge da refrigerante e il bromuro di litio da assorbente, mentre nella miscela ammoniacca-acqua l'ammoniaca è il refrigerante e l'acqua è l'assorbente.

I limiti di funzionamento sono diversi: con la miscela acqua-bromuro di litio, il valore della temperatura della sorgente fredda deve essere superiore a 0 °C e quello della sorgente calda inferiore a 38 °C. Con la miscela ammoniacca-acqua, il valore della temperatura della sorgente fredda può raggiungere -20 °C, mentre quello della sorgente calda può raggiungere 70 °C. Di conseguenza, con la miscela acqua-bromuro di litio si possono costruire solamente macchine acqua-acqua, mentre con quella ammoniacca-acqua si possono costruire anche macchine aria-acqua a inversione di ciclo.

Le macchine ad acqua-bromuro di litio possono lavorare in pompa di calore grazie a un'inversione sull'impianto: trattandosi di macchine condensate ad acqua, valgono gli stessi schemi adottati per i gruppi frigoriferi a compressione. Il loro unico limite è quello di poter produrre acqua a valori di temperatura non superiori ai 38 °C in funzionamento invernale in pompa di calore.

Le macchine ammoniacca-acqua possono lavorare a inversione sul ciclo frigorifero e non solo sul circuito idraulico, perché possono utilizzare anche l'aria come sorgente termica. Il vantaggio è che riescono a produrre acqua a 70 °C con valore di efficienza sufficientemente elevati anche con valori di temperatura dell'aria esterna molto bassi (-20 °C).

4.2.7 Le prestazioni delle pompe di calore

Qualunque sia la tipologia di pompa di calore, considerato che un sistema a pompa di calore è sempre caratterizzato dall'energia sottratta alla sorgente fredda, E_F , da quella fornita al sistema, E_S , e da quella ceduta alla sorgente calda, E_C , il bilancio di energia, schematizzato in *Figura 10*, è il seguente:

$$E_C = E_F + E_S$$

Partendo dalla espressione precedente e accettando le definizioni introdotte dalle normative per i coefficienti di prestazione delle pompe di calore:

EER nel funzionamento estivo,

COP nel funzionamento invernale,

l'efficienza del sistema può essere definita dalle equazioni:

$$EER = \frac{E_F}{E_S}$$

$$COP = \frac{E_C}{E_S} = \frac{E_F + E_S}{E_S} = EER + 1$$

Le prestazioni delle pompe di calore a compressione

Per le pompe di calore a compressione con motore elettrico l'energia fornita al sistema è sempre elettrica, quindi *EER* e *COP* sono rapporti tra energia termica ed energia elettrica, i cui valori possono variare da 2 a 8 a seconda dei parametri che li influenzano.

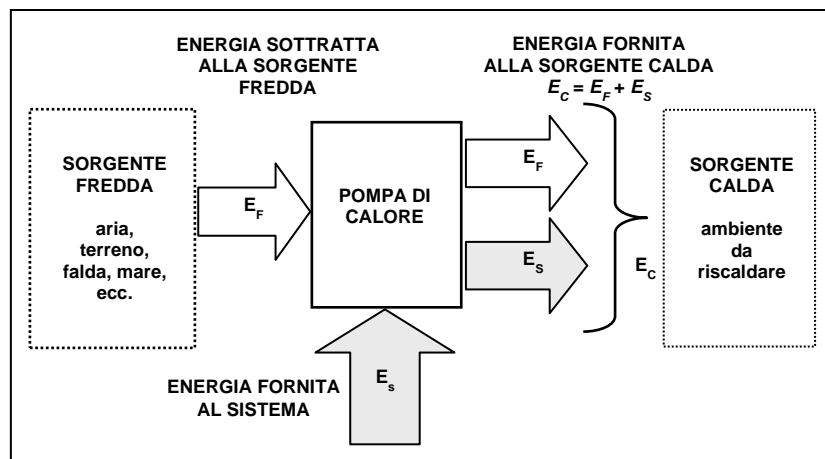


Fig. 10 - Bilancio di energia di un sistema a pompa di calore.

Le prestazioni delle pompe di calore ad assorbimento

Per le pompe di calore ad assorbimento l'energia fornita al sistema è termica, per cui le espressioni precedenti sono rapporti tra energie termiche. Per questo motivo, apparentemente i valori di *EER* e *COP* delle pompe di calore ad assorbimento sembrano nettamente inferiori rispetto a quelli delle pompe di calore a compressione, in quanto vanno da 0,7 a circa 2; ciò non è vero in quanto, come ovvio, si deve ragionare in termini di energia primaria.

4.2.8 La produzione di energia termica ed elettrica (o meccanica)

I sistemi in grado di produrre contemporaneamente energia elettrica o meccanica ed energia termica sono detti sistemi di cogenerazione e vengono utilizzati per produrre l'energia elettrica per gli usi richiesti da un edificio. Sono convenienti perché, a parità di energia termica ed elettrica prodotte, il processo complessivo è più efficiente dal punto di vista energetico.

Oltre a costituire sistemi di produzione dell'energia a elevata efficienza, la cogenerazione, e in particolare la micro-cogenerazione (potenze elettriche generate inferiori a 50 kW), potrebbe

risultare una soluzione significativa nel caso di edifici singoli, con riferimento alla cosiddetta generazione distribuita dell'energia.

Nel caso in cui alla produzione di energia termica ed elettrica si associ anche quella di energia frigorifera, si parla di sistemi di trigenerazione.

4.3. INTERVENTI PER L'ILLUMINAZIONE E CRITERI DI RESTAURO

4.3.1 Criteri metodologici

L'adeguamento tecnologico per il riuso o anche per il semplice buon uso degli edifici storici costituisce oggi uno dei nodi principali, tuttora irrisolti, del restauro. Se per quanto riguarda le operazioni di consolidamento strutturale, come s'è visto, consistenti progressi di studio, poi confluiti in una qualificata operatività, si datano ormai dalla fine degli anni settanta del XX secolo, non altrettanto può dirsi del tema impiantistico e più generalmente tecnologico applicato alle testimonianze culturali architettoniche.

Di tutto questo sforzo di rinnovamento metodologico, nel campo degli impianti tecnologici appaiono solo deboli tracce. Il più delle volte la cultura specifica dell'ingegnere o del tecnico impiantista si riversa, senza mediazione teoretica né metodologica, sul progetto di restauro mettendolo in crisi o, direttamente, sul bene culturale architettonico sottoponendolo a gravi rischi. Né della benefica distinzione fra "adeguamento" e "miglioramento" impiantistico si parla anche se in alcuni aggiornamenti normativi, riguardanti in specie gli impianti elettrici, qualche positiva novità e attenzione comincia a notarsi. Tale la normativa CEI 64/15 venuta a modificare, in meglio, un testo di poco precedente del tutto insensibile alle questioni conservative. Essa consente, per esempio, il riuso dei vecchi impianti, eventualmente passando a sistemi a bassa tensione; con certe garanzie, anche la riduzione delle sezioni minime dei cavi; stabilisce, sempre a favore degli edifici storici, illuminamenti medi molto più ridotti di quelli consueti e via dicendo.

Anche le migliori ditte produttrici cominciano a porsi, se non altro per ragioni economiche, vista la consistenza raggiunta dal fatturato edilizio relativo alla ristrutturazione rispetto alle moderne costruzioni, il problema, sperimentando nuovi prodotti o componenti e soprattutto stimolando occasioni d'incontro e di confronto d'idee, anche di natura interdisciplinare, fra operatori e professioni affini.

Da qui la necessità di far interloquire voci diverse, provenienti dalle discipline storiche, giuridiche, architettoniche, fisico-tecniche ecc., riconducendole ad una ragione comune che è quella conservativa delle antiche testimonianze d'arte e di storia, architettoniche, archeologiche ed urbane. L'intento, prim'ancora di fornire riflessioni o informazioni utili per un qualificato esercizio professionale, è di contribuire espressamente al superamento del dislivello culturale sopra ricordato, vale a dire alla saldatura fra 'restauro' e 'impiantistica per il restauro' o, se si vuole, alla riduzione di quest'ultima, nel pieno rispetto del suo statuto disciplinare, alla 'ragione storica' e metodologica del restauro generalmente inteso.

In questo senso non si tratta solo d'impiantistica negli edifici storici, per il controllo, ad esempio, delle condizioni di *comfort* delle persone presenti al loro interno né di quelle più adatte alla conservazione degli oggetti riparati al loro interno, ma anche di tecnologia e d'impianti a servizio delle architetture storiche medesime, tanto che si tratti di edifici o di siti urbani, come s'usava dire una volta, "vivi" quanto "morti", come nel caso dei monumenti archeologici e della loro illuminazione. Sistemazioni impiantistiche studiate e risolte in modo da rispettare, oltre alla materia, anche l'immagine e la figuratività stesse di tali espressioni architettoniche e urbanistiche.

Se si riuscirà finalmente ad avviare a soluzione il problema impiantistico nel restauro, stimolando

intelligenti sperimentazioni ed attivando un circolo virtuoso di “progettazione - direzione lavori - produzione industriale - artigianato applicativo” rispettoso dei monumenti, si sarà soddisfatto uno dei due principali compiti, il secondo essendo costituito dalla diffusione d’una ‘cultura’ specifica in materia, oggi ancora troppo incerta e frammentaria, anche nei suoi rari esempi positivi. Tutto ciò mentre attualmente la componente impiantistica nel restauro ha raggiunto percentuali sempre crescenti, che sovente si attestano anche fra il 30 e il 50% dell’intero costo dei lavori, con esiti il più delle volte profondamente deludenti quando non rovinosi.

In riferimento ai principi-guida del restauro sopra richiamati si potrebbe dire che l’attenzione al criterio della ‘compatibilità’, sul piano tecnico, comporti la ricerca dei vecchi impianti, delle antiche canalizzazioni e l’eventuale loro adeguamento, anche ai fini d’una parziale riutilizzazione (pur se con semplici funzioni di supporto, analogamente a quanto avviene nel consolidamento); poi la ricerca di soluzioni calibrate e poco invasive; la selezione di materiali adattabili all’antico (come il rame, di cui s’è detto). Sul piano estetico essa implica attente scelte riguardo all’impatto visivo e spaziale degli impianti progettati.

Il rispetto del criterio della ‘reversibilità’ comporta il rifiuto della consueta esecuzione di ‘tracce’ murarie, dell’apertura di vani in breccia; la preferenza per gli impianti a vista, fissi o mobili; la ricerca di cavedi, condotti nascosti o murati, spazi di servizio già esistenti (ad esempio, nel rinfianco delle volte, nei sottotetti, negli scantinati ecc.); l’attenta utilizzazione di tutte le parti già, per altre ragioni (statiche, funzionali ecc.), rinnovate o sostanziosamente integrate. Quanto agli impianti a vista è indubbio che la loro applicazione risponda a tale principio meglio delle comuni soluzioni nascoste sotto traccia, generalmente molto distruttive; ed oggi spesso ci si accontenta di sistemazioni impiantistiche a vista brutte ma col pregio, appunto, della reversibilità. Ma non è detto che debba sempre essere così; impegnandosi seriamente per elevare la qualità del *design* industriale e artigianale, legato al singolo progetto, si potranno finalmente coniugare reversibilità e dignità formale, assicurando, in altre parole, soluzioni belle ed, insieme, leggere e rimovibili.

Il ‘minimo intervento’ suggerisce di attenersi sempre allo stretto necessario, circostanza facilitata da un’accurata decisione preliminare circa il nuovo uso da attribuire all’edificio storico oggetto di studio. Esso non può e forse non deve assicurare le stesse prestazioni d’uno contemporaneo; si tratta d’una realtà radicalmente diversa, che offre altri servizi (ove si considerino le componenti culturali e spirituali) e, pur inducendo a qualche sacrificio o rinuncia, non certo una ‘qualità di vita’ minore di tanta edilizia moderna. Né hanno senso lavori che riducano l’antica fabbrica ad una sorta di animale imbalsamato, mantenuto nelle sue forme esteriori ma totalmente rinnovato all’interno.

La ‘distinguibilità’ nuovamente spinge a privilegiare tipi d’impianto a vista, con la conseguente necessità d’un buon *design* (ne costituisce un positivo esempio, applicato al caso d’un monumento ‘naturale’, il raffinato sistema d’illuminazione delle grotte di Frasassi, realizzato, appunto, con impianti a vista integrati nelle strutture dei percorsi di visita; o quello sperimentale, integrato col sistema di dissuasori posto a protezione dei dipinti murali, studiato dall’Istituto Centrale del Restauro per la cripta affrescata del Duomo di Anagni).

La riconsiderazione di questi criteri di metodo, propriamente di restauro, sta ormai spingendo i professionisti più accorti e le imprese più qualificate a studiare e sperimentare nuove soluzioni e nuovi prodotti (ad esempio, impianti elettrici a bassa tensione; scatole, frutti, condutture appositamente progettati) nell’intento di adeguarsi alle richieste specialistiche di mercato, com’è già avvenuto, nei decenni scorsi, per la rimessa in commercio di prodotti edilizi tradizionali, dati per scomparsi: calce in zolle, terre coloranti nostrane, laterizi vari fatti a mano ecc.

Il 'rispetto dell'autenticità' impone di non cedere alla tentazione di demolire e ricostruire, magari in finte forme antiche, ma di conservare materialmente la preesistenza storica, anche nelle sue semplici testimonianze artigianali (condutture in cotto, pietra, legno ecc.) e industriali invecchiate (componenti in commercio fino a tutti gli anni sessanta ed anche settanta, se si considera che un'incipiente storicità ed un interesse di 'modernariato' emergono dopo un distacco temporale oggi misurabile in una generazione, vale a dire in circa trent'anni). Un interessante esempio è costituito dal recupero parziale dell'antico impianto elettrico in filo a treccia, con isolanti in porcellana, che si può osservare nella restaurata Certosa di Calci, presso Pisa (XIV-XVIII sec.).

Ritorna, in termini più generali, la nota distinzione fra 'restauro' e 'recupero' che, sotto certi aspetti, richiama quella, ancora più generale, fra 'beni storico-artistici' e 'preesistenze', vale a dire l'insieme del costruito. Il recupero d'una preesistenza edilizia è mosso da ragioni soprattutto economiche e d'uso. La sua ricaduta negli impianti è immediata e volta alla scelta della soluzione di minor costo, più efficace e innovativa, più semplice tecnicamente, eseguita secondo gli standard correnti, meglio se in modo ripetitivo, in analogia con le nuove costruzioni.

Il restauro, invece, è mosso da ragioni di memoria e di cultura, di conseguenza si caratterizza in termini soprattutto conservativi. La sua ricaduta negli impianti comporta, viceversa, la ricerca della minore 'invasività', il rispetto storico, l'accettazione di costi adeguati, la singolarità di scelte e soluzioni, una continua invenzione progettuale ed un'organizzazione del lavoro quasi artigianali. In questo caso il progettista e il direttore dei lavori dovrebbero identificarsi nella medesima persona, la quale non può delegare ad altri una responsabilità di presenza in cantiere, di controllo e di progettazione 'permanente', estesa lungo tutta la durata dei lavori.

Per quanto riguarda, infine, la qualità dell'illuminazione va considerato che la sua definizione progettuale ricade pienamente all'interno del restauro, come atto di 'presentazione' del bene culturale. Da qui un'attenzione allo studio delle qualità specifiche del manufatto, della sua collocazione urbana o paesaggistica, della sua stessa natura, da estendere fino alla comprensione storico-critica di come il manufatto doveva essere illuminato e percepito in origine e di come tale percezione è variata nel corso del tempo (si pensi alla nuova illuminazione della cupola della basilica di S. Pietro in Vaticano, successiva ai restauri del Grande Giubileo del 2000, ove la cupola stessa, prima troppo fortemente illuminata da fasci di luce diretta, appare ora delineata, sullo sfondo scuro del cielo, da una morbida e tenue luce 'lunare' mentre il lanternino è tornato ad essere, letteralmente, una fonte di luce propria che sembra emanare dall'interno della basilica).

Anche in questo caso la ricerca storica preliminare costituisce una guida affidabile, ad esempio per rispondere alla domanda se l'illuminazione artificiale debba estendersi su un'intera superficie o caratterizzarsi per punti, per linee; od anche per stabilire il colore e la quantità di luce che devono opportunamente colpire il monumento. Tutto ciò tenendo presente, infine, il legittimo 'diritto al buio' (come anche alla quiete e al silenzio) che le antiche architetture sembrano nella maggior parte dei casi reclamare.

4.4. Le fonti rinnovabili di energia nel patrimonio culturale: opportunità, limiti e criticità

4.4.1 - Le energie rinnovabili nell'edilizia storica e le ricadute sul paesaggio.

Si affronta in questa sezione il tema della 'ricaduta' all'esterno degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica dell'edilizia storica, con ciò intendendo sia gli esiti direttamente indotti sull'involucro edilizio, e dunque sull'immagine architettonica dello stesso, sia quelli interferenti con il contesto circostante, urbano o più genericamente territoriale.

La questione attiene principalmente all'impiego delle tecnologie di produzione dell'energia da fonti rinnovabili (sistemi solari 'attivi', 'minieolico', ecc.), ma problematiche non dissimili possono anche derivare da soluzioni tecniche di tipo 'passivo' quali l'installazione di schermature esterne di varia tipologia e natura, di camini di ventilazione, ecc.

Tali problematiche vengono, si precisa, qui trattate in un'ottica circoscritta agli interventi sull'edilizia storica, non essendo certo questa la sede in cui affrontare la problematica dell'inserimento a scala territoriale dei grandi impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili (in particolare: campi eolici, campi fotovoltaici a terra), questione che evidentemente esula dal tema delle presenti Linee di indirizzo e non può che essere oggetto di trattazioni specifiche, peraltro in parte già disponibili a cura del MiBACT.

Venendo dunque agli interventi così come appena definiti e circoscritti, è ancora il caso di chiarire, sempre in premessa, il fatto che, qualora essi incidano su aree o immobili sottoposti a tutela paesaggistica ai sensi della Parte III del Codice, soggiacciono all'obbligo della preventiva acquisizione dell'autorizzazione paesaggistica ex art. 146 del Codice medesimo, e di evidenziare come ricorrano non pochi casi di interi centri storici sottoposti a tale regime di tutela.

Soffermandosi ancora sugli aspetti procedurali, va ricordato che godono di autorizzazione paesaggistica 'semplificata' ex DPR 139/2010 i pannelli solari, termici e fotovoltaici fino ad una superficie di 25 mq, con esclusione tuttavia delle zone territoriali omogenee "A" di cui all'art. 2 del DM n. 1444 del 1968 o ad esse assimilabili, e delle aree vincolate ai sensi dell'art. 136, comma 1, lettere *b* e *c* del Codice, fattispecie nelle quali ricadono i centri storici.

Sotto il profilo edilizio (ma non, si badi, paesaggistico), le "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili" (DM Sviluppo economico 10.09.2010), rispettivamente ai punti 12.1 e 12.2, rubricano la realizzazione di impianti solari fotovoltaici collocati su edifici - a seconda del ricorrere o meno di determinate condizioni accuratamente esplicitate nel testo normativo - fra gli interventi "di attività edilizia libera", con esclusione anche in questo caso dei centri storici e di tutti i casi ricadenti nel campo di applicazione del Codice (Parte II, "Beni culturali", e Parte III, "Beni paesaggistici"), o fra quelli soggetti a DIA (sostituita dalla PAS, Procedura Abilitativa Semplificata, dal DLgs 28/2011, art. 6); nella fattispecie dell'"attività edilizia libera", viene altresì inquadrato, al punto 12.5, il c.d. "microeolico" (singoli generatori eolici con altezza non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro), anche in questo caso con esclusione dei casi ricadenti nel campo di operatività dei dispositivi di tutela del Codice.

Il già richiamato d.lgs 28/2011, inoltre, esclude (art. 11, comma 2) gli edifici tutelati ai sensi del d.lgs 42/2004 (Parte II e Parte III, art. 136, comma 1, lettere *b* e *c*) dall'obbligo di utilizzare, nel caso di *ristrutturazioni rilevanti* (secondo i principi minimi di integrazione indicati nell'Allegato 3), le fonti rinnovabili per la copertura dei consumi energetici.

Lo stesso articolo, al comma 1 - sempre nel caso di edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti - riduce del 50% la soglia di cui all'Allegato 3 qualora essi ricadano nei centri storici (zona A del DM 2 aprile 1968, n. 1444), disponendone comunque (comma 6) l'incremento del 10% per gli edifici pubblici.

Tornando agli ambiti sottoposti a tutela paesaggistica, va infine ricordato che i Piani paesaggistici dettano regole e direttive che possono incidere sulla possibilità o meno di impiegare tecnologie quali l'eolico o i sistemi solari attivi - fotovoltaici o termici che siano - e che dunque alla pianificazione paesaggistica (del tutto sovraordinata, si ricorda, agli strumenti urbanistici) dovrà innanzitutto riferirsi il progettista per una preliminare valutazione circa la praticabilità dell'intervento eventualmente previsto; il Codice prevede inoltre che tutti gli immobili e le aree sottoposte a tutela (tanto ai sensi dell'art. 136 che 'ex lege' ai sensi dell'art. 142) siano dotati di adeguate "norme di gestione", attualmente in corso di elaborazione nell'ambito dei molti tavoli di co-pianificazione attivi tra il MiBACT e varie Amministrazioni regionali per la redazione dei Piani paesaggistici di nuova generazione ai sensi dell'art. 143 del Codice medesimo, attività nell'ambito della quale il tema delle energie rinnovabili potrà trovare più adeguata e aggiornata considerazione. Da ultimo va ricordato che, sulla base di quanto disposto dalle Linee guida di cui al DM 10.09.2010, già più volte richiamate, le Regioni e le Province possono procedere ad individuare nei loro territori le aree non idonee all'installazione di impianti da energie rinnovabili, facoltà della quale si è avvalsa ad esempio la Regione Toscana per gli impianti fotovoltaici a terra (Delibera Consiglio Regionale n. 68 del 28.10.2011).

4.4.2. - I sistemi solari attivi nell'edilizia storica

I sistemi solari attivi captano, accumulano e utilizzano l'irraggiamento solare per produrre, attraverso degli impianti fotovoltaici oppure termici inclusi nelle strutture dell'edificio, energia elettrica o termica (acqua calda sanitaria).

Nel caso del solare termico, i pannelli consentono (con diverse tecnologie) di riscaldare l'acqua fino ad una temperatura di 38 – 45 gradi.

Il fotovoltaico invece si presenta sotto una maggiore varietà di forme, visto che le celle fotovoltaiche possono essere incorporate in diversi tipi di strutture (pannelli da posizionare in falda, a sostituzione del manto di copertura, ma anche lastre di vetro, tegole fotovoltaiche ecc.).

Uno dei punti problematici nel rapporto tra l'energia solare e l'edilizia storica è connesso all'impatto sull'immagine: l'alterazione della percezione del volume dell'edilizia storica, dei materiali e delle superfici. Anche in questo campo si dovrebbe operare, in fin dei conti, con i principi generali del restauro, tra cui la reversibilità dell'intervento e la non invasività rispetto alle strutture storiche.

Nei singoli casi, la mitigazione dell'impatto è possibile attraverso una riflessione su questi elementi e lo studio della disposizione dei pannelli di modo che non si alterino le linee generali dell'edificio.

Nel caso di inserimento sui tetti, nell'allegato 3 del d.lgs 28/2011 è indicato che i pannelli fotovoltaici o solari termici devono essere disposti con "la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda", nell'intenzione ovvia di evitare le alterazioni volumetriche.

Si potrebbero delineare alcuni filoni di discussione, con problematiche diverse (considerati sia i beni tutelati dal d.lgs 42/2004, sia l'edilizia storica seriale, tutelata dalle normative urbanistiche di competenza regionale e locale), anche connesse all'incidenza statistica dei singoli casi:

1. l'inserimento in aree di tutela paesaggistica quali centri storici (interventi puntuali a contatto con l'edilizia storica, ma anche inserimenti sulle falde o quali elementi aggiuntivi all'edilizia storica seriale);
2. inserimenti su edifici storici isolati, anche se non tutelati ai sensi del d.lgs 42/2004: per esempio fattorie storiche o edifici agricoli, isolati;

3. l'inserimento a contatto con i beni monumentali (sulle falde dei tetti, a sostituzione di superfici vetrate ecc.) o in aree di tutela indiretta.

Nell'ultimo caso, per esempio, è prassi diffusa evitare l'inserimento dei pannelli sull'edificio monumentale: sui corpi annessi o sulle recinzioni, o nelle aree immediatamente circostanti, va valutato l'inserimento dei pannelli in relazione alla percezione visiva del monumento e alle sue caratteristiche peculiari.

Le testimonianze di architettura industriale otto-novecentesca oppure l'architettura modernista si potrebbero, ipoteticamente, prestare in modo più immediato a delle esercitazioni progettuali sul design solare, essendo per loro natura forme di fattura industriale, vicine concettualmente all'innovazione tecnologica contemporanea. La riflessione diventa molto più difficile laddove si tratta di forme e materiali risalenti a epoche più antiche.

Il fotovoltaico

Il sistema più diffuso sul territorio italiano è ancora rappresentato dalla superficie di pannelli, inseriti sulle falde delle coperture o sulle superfici verticali (terrapieni, recinzioni, muri); sono utilizzati meno altri sistemi (celle fotovoltaiche incorporate nel vetro, nelle singole tegole, ecc.)

Considerato il rapporto costi – benefici energetici, bisogna precisare che una superficie continua di pannelli ha una resa molto maggiore rispetto allo sviluppo di sistemi con elementi minuti: la stessa dipende dalla grandezza della superficie dei pannelli, ma anche dall'orientamento (il migliore è verso sud) e dall'inclinazione del pannello. Nel caso di un edificio storico, con l'applicazione in copertura, rispettando l'orientamento e l'inclinazione della falda, raramente si arriva ad una situazione ottimale dal punto di vista energetico: a fronte di una significativa alterazione dell'immagine, non sempre si ottiene un grande vantaggio energetico.

Per il fotovoltaico, in tali situazioni forse converrebbe delocalizzare la produzione dell'energia in un campo solare esterno, partecipato, realizzato se possibile senza consumo di territorio (per esempio in copertura di un parcheggio o di un capannone, sulle barriere autostradali anti-rumore): in questo modo facilmente si possono impostare condizioni ottimali di esposizione.

Un interessante progetto sperimentale sul fotovoltaico nell'edilizia storica, ancora attuale anche se risalente a quasi un decennio fa, è stato PV accept, 2002 – 2004 (www.pvaccept.de); in Liguria si è riuscito, con il sostegno della Soprintendenza competente, ad inserire alcuni elementi di design, al Castello di Portovenere - elementi fotovoltaici a bandiera nelle arcate delle mura di fortificazione - , al Museo Civico Archeologico di La Spezia - insegna fotovoltaica all'ingresso). Diverse sperimentazioni sono portate avanti nei progetti di architettura (v. anche: www.europaconcorsi.it); il concorso di idee "Le energie rinnovabili per le isole minori e le aree marine protette - energie rinnovabili e paesaggio" porterà forse altre interessanti proposte.

Gli elementi fotovoltaici rivestono ormai diverse forme e cromatiche:

- il sistema più diffuso resta l'aggregazione di pannelli fotovoltaici, di diverse dimensioni e modi di applicazione (non entriamo qui nei dettagli tecnologici delle tipologie di pannello), installati al di sopra degli elementi architettonici o a sostituzione degli stessi;
- elementi fotovoltaici di minori dimensioni, di grande diversità di forme, integrati in altri elementi costruttivi o indipendenti, dal design particolare:
 - la tegola con cellule fotovoltaiche,
 - la pellicola fotovoltaica da applicare sulle superfici vetrate,
 - le lastre di vetro con cellule fotovoltaiche incorporate;

- sistema di parasolari fotovoltaici, fissati su strutture di sostegno addossate alle facciate ecc.

In effetti, i decreti *Conto Energia* hanno riconosciuto tariffe incentivanti per gli elementi fotovoltaici di tipo innovativo, che vanno a sostituzione degli elementi architettonici tradizionali.

Aspetti critici

- Visivamente, l'alterazione cromatica delle superfici architettoniche (intonaci, paramenti a vista, falde di copertura in coppi) – (però, dal punto di vista cromatico, ormai sono in produzione elementi che consentono una migliore integrazione degli elementi fotovoltaici con le superfici circostanti).
- Alterazione del paesaggio e l'impermeabilizzazione dei suoli, nel caso di posizionamento a terra degli impianti.

Proposte

Se possibile, è sempre auspicabile la delocalizzazione della produzione di energia fotovoltaica all'esterno dei centri storici, su coperture o prospetti di fabbricati industriali, centri commerciali ecc. Per l'inserimento dei pannelli sulle coperture dell'edilizia storica sarebbe buona regola seguire alcune linee:

- laddove possibile, inserire i pannelli sulle coperture degli edifici annessi (pergole sul parcheggio ecc.) invece che sulla copertura dell'edificio storico;
- utilizzare le soluzioni integrate – a sostituzione della copertura;
- studiare la disposizione dei pannelli in una striscia continua, al di sopra della linea di gronda, su tutta la lunghezza del tetto, o eventualmente a copertura dell'intera falda che presenta la migliore esposizione: la superficie di pannelli risulta in questo modo meno invasiva rispetto alla frammentazione visiva della falda;
- scegliere soluzioni cromatiche compatibili per la superficie dei pannelli, nel caso di inserimenti sulle coperture (grigio dell'ardesia, rosso mattone dei coppi ecc.), sui muretti dei terrapieni, sulle recinzioni.

Nel caso di edifici tutelati ai sensi del d.lgs 42/2004, sono da valutare attentamente proposte riguardanti l'inserimento di elementi di design particolare, integrato: celle fotovoltaiche incorporate in superfici vetrate, “piastre” di celle fotovoltaiche applicate su pareti verticali (anche come pannelli di segnalazione fotovoltaici nel caso di complessi museali, ecc.)

Il solare termico (i collettori solari)

Il collettore solare è un sistema che trasforma l'energia solare in energia termica, utilizzato per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, per il riscaldamento a pavimento (in questo caso spesso il pannello solare arriva a fornire direttamente l'acqua alla temperatura di 30°C) oppure con corpi radianti, per il riscaldamento delle piscine o delle docce esterne ecc. In linea molto schematica, consiste in un sistema di pannelli che permette il riscaldamento dell'agente termico (acqua) ed è messo in relazione ad un serbatoio e ad un sistema di distribuzione. Il sistema termico solare funziona in abbinamento ad un sistema tradizionale di riscaldamento, che garantisce il raggiungimento delle temperature ottimali, ad integrazione dell'apporto dei collettori solari.

Dal punto di vista del rapporto con l'edilizia storica, le considerazioni sono molto simili a quanto detto in relazione al fotovoltaico. Bisogna anche considerare i serbatoi di scambio e accumulo, che possono essere aggregati al pannello o posizionati nella sua vicinanza. La necessità di avere i collettori prossimi al serbatoio di accumulo e al sistema di distribuzione, per minimizzare le

dispersioni di energia termica, rende meno pratica la soluzione di collocamento dei pannelli a distanza dall'edificio storico (su pergole, a modo di frangi-sole sui parcheggi ecc.). Solitamente i collettori sono posizionati sulla copertura, eventualmente su terrapieni o muri di recinzione (soprattutto nel caso di sistemi riscaldanti per piscine), o a terra.

Aspetti critici dal punto di vista dell'immagine:

- presenza del serbatoio esterno, vicino al pannello;
- l'alterazione della cromatica tradizionale e della percezione generale delle superfici architettoniche.

Proposte:

è sconsigliabile, nell'edilizia storica, l'uso dei pannelli con serbatoio esterno; si adotteranno sistemi con serbatoio interno.

La collocazione dei pannelli va studiata di modo che si alteri nel minor modo possibile la percezione dell'architettura: è buona prassi mettere i pannelli in modo ordinato, allineati su una striscia parallela alla linea di gronda, o a copertura dell'intera falda. Lo stesso vale per l'applicazione sui muretti di sostegno dei terrapieni ecc.

Sono disponibili soluzioni tecnologiche di mimetizzazione cromatica, attraverso l'applicazione di una decalcomania forata sulla superficie del pannello.

4.4.3. I sistemi solari passivi nell'edilizia storica

Per sistemi passivi s'intendono tutti quei sistemi strettamente integrati agli edifici, tesi al miglioramento del comfort termoisolante e psico-percettivo dell'utente, che si avvalgono di mezzi e accorgimenti che per il loro funzionamento non richiedono fonti di energia esterne. Nel considerare l'edificio in simbiosi con il contesto nel quale si inserisce, non circoscrivono la funzione dell'involucro al ruolo di solo elemento di proiezione, ma lo riconoscono nella sua capacità di mediare le condizioni climatiche esterne, sia in riferimento alle oscillazioni giornaliere che a quelle stagionali, e di sfruttarle al fine di portare gli ambienti interni al livello di benessere termico. L'edificio diventa, dunque, "il" sistema passivo, con le sue strategie progettuali di posizionamento e orientamento nel lotto; di distribuzione degli spazi interni; di scelta di materiali da usare; di inserimento di forma e posizione di superfici vetrate e murature; di definizione del tipo di copertura⁷⁹. In questa sezione verranno descritti i sistemi che richiedono interventi sulle volumetrie degli edifici e coinvolgono più unità tecnologiche per un funzionamento sinergico, mentre nelle sezioni precedenti sono stati presi in considerazione interventi di tipo superficiale.

Tipologie in relazione alla posizione

Un altro tipo di classificazione fa riferimento alla posizione rispetto all'edificio, e quindi al livello di integrazione con esso. Le alterazioni volumetriche implicate dall'utilizzo dei sistemi passivi possono essere aggregate o appoggiate all'edificio (*lean to*), costituendone quindi una "estensione" verso l'esterno, oppure integrate o incorporate (*embedded*), potendo essere considerate come un "completamento". Nell'efficientazione energetica di edifici storici è opportuno tenere in considerazione quali sono i vincoli posti negli interventi di ristrutturazione per valutare il livello d'incisività sul carattere dell'edificio dell'apposizione di volumi edilizi chiusi da una o più pareti trasparenti, appositamente schermati ed apribili per limitare gli effetti di surriscaldamento in

⁷⁹ Bori D., *Il raffrescamento passivo degli edifici: tecniche, tecnologie, esempi: cenni di termofisica applicata*, Napoli, Sistemi editoriali, 2006.

situazione estiva. Nel caso in cui sia impossibile operare alterazioni sulle volumetrie originarie dell'edificio sarà necessario adoperare soluzioni superficiali relative alle singole unità tecnologiche cercando di massimizzare le sinergie tra esse nella fase di progettazione degli interventi. Se le variazioni volumetriche sono possibili ma, ad esempio, è necessaria una particolare attenzione agli elementi di pregio in facciata, l'eventuale integrazione di sistemi volumetrici sarà possibile in eventuali corti o logge interne, e viceversa. Se i vincoli riguardano gli interni, mentre gli esterni possono essere soggetti a variazioni, o se l'integrazione di elementi vetrati può aiutare a preservare le finiture esterne di pregio dall'azione degli agenti atmosferici, sarà in questo caso possibile aggregare elementi in facciata o in copertura del tipo *lean to*.

Tipologie in relazione al funzionamento

I sistemi passivi si possono classificare in relazione al funzionamento, ovvero alla modalità di captazione, accumulo e trasferimento o distribuzione dell'energia termica o luminosa, distinguendosi in sistemi a guadagno diretto, indiretto e isolato. Nei sistemi *diretti* l'energia è generata o captata direttamente all'interno dell'ambiente destinatario della stessa; per quanto riguarda i sistemi solari, l'energia termica si distribuisce all'interno dell'ambiente per irraggiamento diretto. Nei sistemi *indiretti* l'energia è captata o generata in uno spazio adiacente al locale destinatario e viene trasferita attraverso moti convettivi o radiativi attraverso una massa di accumulo (energia termica) o sistemi di riflessione multipla (energia luminosa). Nei sistemi *isolati* infine, l'energia è captata ed accumulata in uno spazio apposito distante dall'ambiente destinatario e per la trasmissione ci si serve spesso di sistemi impiantistici ibridi abbinati a quelli passivi (canalizzazioni con bocchette di presa e immissione generalmente supportate da ventole per l'energia termica). Solo attraverso uno studio delle caratteristiche intrinseche dell'edificio storico sarà possibile selezionare il tipo di sistema più conveniente in termini energetici e di rispetto delle strutture esistenti. Nella riqualificazione, il primo sistema garantisce in generale una maggiore compatibilità con le condizioni esistenti della fabbrica e necessità di minori interventi. La possibilità di sfruttare la massa termica delle imponenti chiusure opache può, ad esempio, portare a preferire sistemi di tipo diretto-indiretto; la suscettività a sfruttare o integrare sistemi di canalizzazione permette l'integrazione di sistemi di tipo isolato che consentono la climatizzazione o l'illuminazione di ambienti svantaggiati per posizionamento all'interno del complesso edilizio (ambienti interni senza aperture, locali ipogei, ecc.).

Strategie dei sistemi passivi

I sistemi passivi permettono di operare strategie di contenimento delle dispersioni o di captazione e accumulo termico ai fini del riscaldamento dell'edificio, captazione e diffusione della luce naturale per l'illuminazione, e dispersione termica attraverso il controllo della ventilazione per favorire il raffrescamento.

Nella gestione del riscaldamento passivo, ai fini del contenimento delle dispersioni e dell'accumulo termico, l'integrazione di sistemi volumetrici alle chiusure può avere apporti termici estremamente positivi, poiché incrementa notevolmente il contenimento della dispersione termica e la captazione e distribuzione dell'energia solare termica. La prima strategia, di tipo conservativo, conferisce al sistema il ruolo fondamentale di isolare lo spazio interno da quello esterno, agendo sulle dispersioni dell'involucro edilizio opaco e trasparente e sulle dispersioni per ventilazione, neutralizzando i ponti termici e minimizzando dunque il fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento.

La seconda di tipo captativo tende a ottimizzare gli apporti solari conferendo all'edificio la capacità di adattarsi alle variabili climatiche giornaliere e stagionali, ottimizzando i guadagni energetici gratuiti che provengono dall'insolazione sulle superfici dell'edificio sfruttando il fenomeno dell'effetto serra, che consiste nell'innalzamento della temperatura di un ambiente chiuso esposto all'irraggiamento del sole attraverso una superficie vetrata, combinandolo con le caratteristiche di accumulo delle pareti opache per la distribuzione del calore nel tempo (cfr. § 4.1.4)⁸⁰. Per ottenere il massimo guadagno solare, la vetrata che fa da collettore termico dovrebbe essere esposta alla massima radiazione: nel caso di una riqualificazione, è possibile utilizzare per la captazione le finestrate esposte a Sud, che garantiscono un'ottima insolazione invernale e un ridotto guadagno termico estivo, ottimizzando invece l'isolamento delle restanti chiusure trasparenti. In generale, la captazione solare può avvenire secondo i tre modelli di guadagno energetico descritti in precedenza. Gli interventi che permettono di operare tali strategie sono i *buffer space*⁸¹ per quanto riguarda il contenimento delle dispersioni, le serre solari e gli atri bioclimatici.

In.24. Realizzazione di buffer space

Anche detto "spazio cuscinetto", poiché crea uno strato d'isolamento aggiuntivo dalle temperature esterne ed ottimizza il contenimento della dispersione degli apporti termici interni, riducendo la necessità di riscaldamento meccanizzato. Deve essere completamente apribile in estate per evitare carichi termici eccessivi. A seconda del posizionamento rispetto al Nord, può fungere solamente da contenimento delle dispersioni termiche o assumere il duplice ruolo di accumulatore termico.

In.24. Realizzazione di serre captanti

Le serre captanti contribuiscono notevolmente al contenimento energetico dell'edificio, poiché sono sistemi che sfruttano l'effetto serra per l'accumulo passivo di energia termica. I vetri devono avere caratteristiche di buona captazione solare e contemporaneamente di isolamento termico. La presenza di masse di accumulo serve a stabilizzare la temperatura e ne garantisce il rilascio graduale durante la giornata. Occorre prestare attenzione ai guadagni termici estivi: le pareti trasparenti, ai climi temperati, devono essere dotate di sistemi di apertura e schermatura che annulli l'effetto serra nelle stagioni calde. Le serre possono funzionare come sistemi diretti, indiretti o isolati⁸².

Ai fini del potenziamento dell'illuminazione naturale degli ambienti, a latere dei sistemi diretti di captazione della radiazione luminosa attraverso le superfici vetrate, esistono sistemi più o meno semplici di riflessione della luce solare verso gli ambienti privi o con condizioni svantaggiate di esposizione esterna. Allo sfruttamento delle proprietà riflettenti dei materiali di rivestimento delle pareti opache per la riflessione diretta nello stesso ambiente in cui avviene la captazione (cfr. §

⁸⁰ La radiazione solare investe le vetrate e arriva a incidere sulle pareti opache. Il vetro è trasparente alle radiazioni nella banda del visibile e opaco alla radiazioni infrarosse, costituite dal calore: quando le radiazioni del visibile penetrano nella serra, vengono assorbite dagli oggetti e strutture presenti, aumentando la loro temperatura superficiale e causando la loro emissione di calore per irraggiamento e convezione; tale calore, non potendo più attraversare il vetro, contribuisce al riscaldamento dell'ambiente e degli occupanti. L'efficienza del sistema viene inoltre migliorata abbinando l'uso del vetro a materiali ad elevata densità, che possiedono la capacità di accumulare grandi quantità di energia prima di trasferire il calore in superficie, riscaldandosi e rilasciando il calore lentamente.

⁸¹ Battisti A., *Buffer space*, Carbonara G., Strappa G. (a cura di), *Architettura Progettazione Restauro Tecnologia Urbanistica*, Torino, UTET Scienze Tecniche, in stampa.

⁸² Battisti A., *Serra solare*, Carbonara G., Strappa G. (a cura di), *Architettura Progettazione Restauro Tecnologia Urbanistica*, Torino, UTET Scienze Tecniche, in stampa.

4.1.4) si aggiungono sistemi indiretti che, attraverso l'impiego di materiali riflettenti, sfruttano cavedi esistenti o creando nuovi passaggi per trasferire la luce solare dall'esterno verso l'interno. Grandi scaloni centrali o atri sono spesso illuminati dall'alto tramite lucernai. In clima mediterraneo è necessario prestare attenzione per minimizzare il rischio di surriscaldamento attraverso sistemi di schermatura e ventilazione naturale. In passato spesso ai lucernai veniva applicato uno strato di intonaco bianco in primavera, poi rimosso in inverno, che preveniva l'ingresso di luce diretta e calore in estate, mantenendo un buon grado di illuminazione diffusa (oggi lo stesso effetto si potrebbe ottenere con l'implementazione di vetri termocromici, trasparenti in inverno, traslucidi/opalini d'estate).

In.25 Installazione di un camino di luce (corelighting / lightpipe / suntube)

In edifici caratterizzati da ambienti profondi, l'installazione di *lightpipe* può essere una soluzione per provvedere ad un'illuminazione adeguata per gli ambienti più interni o per i piani interrati. I camini di luce sfruttano cavedi esistenti o si inseriscono in nuove condutture per trasferire la radiazione luminosa dall'esterno all'interno attraverso sistemi captanti posti a Sud o in posizione zenitale, l'ausilio di attrezzature semplici come sistemi di rivestimento riflettenti o fotoconduttori tubolari per la trasmissione luminosa, e sistemi di diffusione chiari in policarbonato o vetro incassato nel soffitto.

Per favorire il raffrescamento passivo si operano strategie di dispersione termica attraverso il controllo della ventilazione (moti radiativi e convettivi) e sistemi di raffrescamento evaporativo. I dispositivi di ventilazione naturale sono da sempre stati utilizzati nell'architettura storica per la climatizzazione degli ambienti, specialmente nei climi caldi, ed è possibile annoverare tra gli esempi più famosi di questa modalità di raffrescamento naturale le torri del vento iraniane, le architetture normanno arabe in Sicilia culminate nella costruzione del Palazzo della Zisa di Palermo, le masserie pugliesi ed altri esempi ancora. Oltre ai sistemi diretti di raffrescamento che sfruttano le aperture di ambienti adiacenti per innescare la ventilazione attraverso l'apertura manuale o meccanizzata dei sistemi di finestratura (cfr. § 4.1.5) in questa sezione ci interesseremo dei sistemi indiretti o isolati che sfruttano cavedi o vani scala esistenti per combinare una ventilazione passante da gradiente termico ascendente (effetto camino) o discendente (effetto caduta d'aria) per il raffrescamento di ambienti ad essi adiacenti o connessi tramite un sistema di canalizzazione dell'aria. Il sistema di ventilazione naturale controllata per effetto camino sfrutta la differenza temperatura dell'aria tra interno ed esterno per estrarre l'aria viziata dagli ambienti ed espellerla verso la volta celeste⁸³. Può essere integrato con sistemi di raffrescamento evaporativo che innescano l'effetto caduta d'aria, associando alle chiusure trasparenti elementi tecnici specificatamente prodotti per lo scambio termico evaporativo⁸⁴ (nebulizzatori e spruzzatori eventualmente coadiuvati da ventole - sistemi ibridi). Tali tecniche devono essere usate in climi caldi secchi, dove i valori di umidità relativa dell'aria son tali da evitare che uno strumento del genere provochi discomfort.

⁸³ L'effetto camino è un fenomeno di ventilazione naturale all'interno di un edificio, causato da differenze di pressione, dovute a differenti densità dell'aria causa delle diverse temperature dei fluidi, per cui l'aria calda meno densa tende a risalire ingenerando una depressione a valle e richiamando aria fredda più densa (moti convettivi).

⁸⁴ I sistemi a raffrescamento evaporativo si basano sulla sottrazione del calore contenuto nell'aria immessa in un ambiente, tramite il passaggio della medesima attraverso contenitori d'acqua (bacini, canali, fontane, serpentine) o getti nebulizzati (sistemi passivi diretti), o apparecchiature (sistema ibrido indiretto), che inducono l'evaporazione dell'acqua stessa.

In.26 Realizzazione di camini di ventilazione

Sistemi passivi usati sin dall'antichità, i camini di ventilazione⁸⁵ possono essere realizzati in edifici storici sfruttando cavedi esistenti o vani scala. L'effetto camino sfrutta la differenza temperatura dell'aria tra interno ed esterno per estrarre l'aria viziata dagli ambienti ed espellerla verso la volta celeste. Per una buona estrazione dell'aria è utile che vi siano differenze piuttosto rilevanti tra l'aria calda nella parte più alta dell'edificio e l'aria esterna. Per aumentare queste differenze, si possono integrare sistemi, come il camino solare, che permettono di aumentare la temperatura nella parte più alta del camino.

Realizzazione di sistemi di caduta d'aria

Una delle tecniche utilizzata direttamente in ambienti confinati è quella a caduta d'aria: essa si basa sull'effetto di raffreddamento prodotto da uno strato d'acqua nebulizzata nella parte di un vano sulle cui chiusure laterali sono collocate una o più aperture. L'aria entrante si raffredda al passaggio attraverso lo strato d'acqua e, aumentando di densità, scende verso il basso⁸⁶.

Realizzazione di atri bioclimatici

Gli atri bioclimatici combinano le strategie di accumulo termico diretto, indiretto o isolato con quelle di captazione e diffusione dell'illuminazione naturale, e di controllo della ventilazione naturale per il raffrescamento. La loro conformazione permette di sfruttare l'effetto serra e l'effetto camino per ottenere entrambi questi risultati. Inoltre può agire sulla quantità di energia luminosa trasmessa attraverso sistemi riflettenti negli ambienti a cui l'interposizione di un atrio ha impedito l'esposizione diretta alla radiazione luminosa.

4.4.4 Le pompe di calore

Le pompe di calore sono considerate fonte rinnovabile per un'aliquota di energia che va calcolata secondo la legislazione e la normativa vigente, unicamente per la stagione invernale. Al momento vigono il DL 28/11 e la Specifica Tecnica UNI/TS 11300-4 (UNI, 2012b). Sull'argomento, nel marzo 2012 AiCARR ha pubblicato un *Position Paper* nel quale vengono presentate alcune proposte migliorative per il calcolo dell'effettiva quota di energia rinnovabile in gioco.

4.4.5 Le biomasse

Per biomassa si intende ogni sostanza di origine biologica e quindi legata alla chimica del carbonio. Volendo fare riferimento alle fonti rinnovabili, è bene considerare come biomasse le sole sostanze prodotte dalla fotosintesi clorofilliana, per esempio foreste, colture, residui dell'industria agroalimentare, valutandole sotto l'aspetto energetico, escludendo quindi da tale definizione tutte le biomasse fossilizzate e i loro derivati. Dalle biomasse così intese è possibile ottenere direttamente combustibili solidi (legna da ardere, residui agricoli e forestali), oppure combustibili liquidi e gassosi ottenuti tramite processi opportuni di trasformazione strutturale della parte organica (combustibile da rifiuti solidi urbani, biodiesel da piante oleaginose, bioetanolo da piante zuccherine, ecc.). Ogni categoria di biomassa può essere sfruttata energeticamente con opportune tecnologie, quasi tutte oggi ben sviluppate, a seconda del loro contenuto di umidità o del loro

⁸⁵ Battisti A., *Torre di ventilazione*, Carbonara G., Strappa G. (a cura di), *Architettura Progettazione Restauro Tecnologia Urbanistica*, Torino, UTET Scienze Tecniche, in stampa.

⁸⁶ Cfr. CS.1, Ristrutturazione del Palazzo della Borsa, La Valletta, Malta (Arch. Brian Ford, Londra).

rapporto carbonio/azoto.

I vantaggi nell'utilizzo delle biomasse ai fini energetici sono legati alle seguenti caratteristiche:

- possono essere considerate risorse rinnovabili, purché vengano impiegate ad un ritmo non superiore alla capacità di rinnovamento biologico;
- fra tutte le energie rinnovabili, sono quelle che caratterizzate da tecnologie già mature;
- sono esenti da zolfo e quindi non provocano formazione di ossidi di zolfo nella combustione, agenti tossici e responsabili delle piogge acide;
- non provocano aumento della CO₂ nell'atmosfera, perché si può considerare che la quantità di gas che emettono durante la loro combustione sia pari a quella assorbita durante la fase di crescita mediante la fotosintesi.

Per contro, le biomasse hanno:

- una bassa densità fisica (sul territorio) ed energetica e sono stagionali; questo comporta maggiori problemi di trasporto e di stoccaggio rispetto ai combustibili fossili tradizionali (la stoccabilità rappresenta anche un vantaggio rispetto ad altre fonti rinnovabili, perché consente di utilizzare la biomassa quando serve, anziché quando c'è, come nel caso del solare e dell'eolico);
- un alto contenuto di umidità e una particolare resistenza meccanica, cosa che rende l'essiccamento e la comminazione difficili e costosi.

4.4.6 La geotermia

L'energia geotermica è l'energia contenuta all'interno della crosta terrestre, che viene trasferita in superficie per conduzione e convezione nelle zone in cui la morfologia terrestre e la presenza di fluidi lo consentono. Viene generalmente utilizzata come sorgente per il funzionamento delle pompe di calore e nello scambio diretto tra il terreno e i fluidi vettori.

4.4.7 Centri e nuclei storici

Come già è stato anticipato nel precedente paragrafo 4.4.2, la casistica al momento più diffusa in Italia di applicazione del fotovoltaico è quella dell'inserimento di pannelli contigui sulle falde di copertura e il requisito minimo di compatibilità di tale inserimento viene in genere individuato nel fatto che i pannelli siano in queste integrati – vengano collocati cioè in modo da sostituire porzioni più o meno estese del manto di copertura senza essere ad esso meramente sovrapposti – e ne seguano inclinazione e orientamento, come del resto già indica il richiamato punto 12.1 delle Linee guida, e si attengano inoltre a geometrie il più possibili regolari e coerenti con la configurazione della falde medesime.

Il mercato offre inoltre ormai soluzioni maggiormente coerenti con i cromatismi dei tradizionali materiali di copertura (laterizio, prevalentemente, con caratteri tonali diversi a seconda delle argille disponibili nelle diverse regioni, ma anche pietra, ardesia, ecc.), sebbene al momento ancora di minor resa in termini energetici rispetto ai pannelli di prima generazione.

Lo stesso dicasi per le cosiddette 'tegole fotovoltaiche', sicuramente ancor meno intrusive ma non pienamente risolutive giacché le celle fotovoltaiche restano visibili in genere nella parte centrale del corpo di ciascun coppo, o in strisce continue inserite tra più file di coppi, con effetto fastidiosamente moltiplicatore dell'alterazione dell'immagine tradizionale tanto più è estesa la superficie della falda di copertura interessata dalla messa in opera di tali elementi.

L'applicazione dei criteri fin qui descritti non ovvia in definitiva al grave problema dell' *effetto cumulativo* indotto dal coinvolgimento dell'insieme delle unità edilizie costituenti l'abitato storico, con esiti paradossalmente tanto più dissonanti quanto più il tessuto edilizio è minuto e 'seriale', per l'evidente conseguenza della moltiplicazione delle superfici di interruzione della continuità cromatica e materica dei manti di copertura, e - per analoghi quanto intuibili motivi - tanto più esiziali per i piccoli centri: con l'aggiunta, peraltro, di effetti di turbativa e contaminazione dell'immagine che, degli antichi nuclei abitati, è percepibile dal contesto territoriale circostante, specie nei casi - peraltro frequentissimi in Italia - in cui essi siano compattamente arroccati su di un rilievo dominante l'intorno.

Problematica, quest'ultima, che investe peraltro anche fabbricati e manufatti non storici che siano però situati nell'immediata fascia libera circostante l'abitato, fascia che non a caso la pianificazione paesaggistica più avvertita protegge con adeguate prescrizioni di salvaguardia e rispetto (c.d. *buffer zone*).

In verità, del complessivo parco edilizio italiano, enormemente incrementatosi - come noto - a partire dall'ultimo dopoguerra, l'edilizia storica costituisce una frazione assai ridotta: sicché - ferma restando l'applicazione di tutte le provvidenze di miglioramento energetico con essa compatibili - appare quanto meno irrazionale se non decisamente miope, nel quadro di un bilanciamento costi-benefici, comprometterne i caratteri connotativi e i valori paesaggistici a fronte dell'apporto certamente non significativo e non risolutivo da essa offerto all'abbattimento, a scala nazionale, dei consumi energetici da fonti fossili e più in generale non rinnovabili.

E, ancora, non può sottacersi il fatto che si opera purtroppo, nel nostro paese, in un quadro di diffuso disordine edilizio e territoriale, e in situazioni sovente, da detto disordine, già compromesse: non sono pochi i centri storici, specie nelle regioni meridionali ma non solo, già gravemente alterati dal sovrapporsi di 'microinterventi' incongrui e dissonanti (superfetazioni e impianti a vista di vario tipo, tetti e tettoie in lamiera ondulata, tegole in cemento colorato, infissi e ringhiere in alluminio, gronde in plastica, impiego di intonaci cementizi e coloriture del tutto avulse dal contesto storico sia per materiali impiegati che per scelte cromatiche, ecc.), ai quali gli impianti di captazione dell'energia solare vengono ad aggiungersi ed a sovrapporsi con esiti di ulteriore se non definitiva cancellazione dei tratti distintivi di contesti urbani anche di notevole pregnanza storica.

La questione da porsi è semmai quella del *vulnus* che verrebbe inferto al principio di pari trattamento con l'esclusione di quanti operino e risiedano negli abitati storici (singoli cittadini, imprese, enti) dalla facoltà di avvalersi del vantaggio economico almeno potenzialmente offerto dall'utilizzazione, ai fini dei propri consumi energetici, di talune soluzioni tecnologiche, e segnatamente di quelle connesse all'impiego di energia da fonti rinnovabili.

Alla luce di quanto sopra, una soluzione preferibile alla installazione di microimpianti fotovoltaici sulle coperture delle singole utenze, praticabile specie nel caso dei piccoli centri, è quella di individuare un unico luogo esterno all'abitato, opportunamente prescelto in posizione defilata, in cui installare cumulativamente gli impianti a cura del Comune consentendo al contempo ai singoli utenti di godere pro quota dei benefici e delle agevolazioni di legge: si tratta del c.d. "*scambio sul posto delocalizzato*" non a caso previsto, in applicazione della legge 99/09, per i Comuni con popolazione fino a 20.000 residenti, e del quale andrebbe promossa l'estensione anche a comuni di maggior peso demografico, oltre che alle Amministrazioni pubbliche quali 'grandi utenti'.

In alternativa, potrebbe anche essere studiata una specifica agevolazione tariffaria per le utenze elettriche ricedenti nei centri storici, tale da compensare la disparità derivante dall'impedito accesso al risparmio energetico consentito dall'utilizzo delle fonti rinnovabili.

L'impiego dei pannelli solari termici pone problematiche di inserimento analoghe qualora ci si riferisca alle soluzioni tecnologiche di ultima generazione che vedono di molto ridotto lo spessore dei pannelli medesimi ed eliminato il serbatoio esterno a vista, caratteristiche tecnico-costruttive, queste ultime, del tutto incompatibili con qualsiasi integrazione nel manto e pur tuttavia ancora diffuse sul mercato e di largo impiego nella corrente operatività.

Ma, per l'appunto, anche nel caso di utilizzo di versioni piatte e leggere le problematiche di inserimento restano quelle di cui già si è detto con riguardo ai pannelli fotovoltaici - peraltro non di rado proposti in abbinamento ai pannelli solari, con ulteriore esiti di intrusività e disordine visivo - e dunque parimenti va auspicato l'abbandono delle soluzioni puntiformi di tipo individuale a favore di una attenta valutazione circa la praticabilità di soluzioni alternative "centralizzate", quali il teleriscaldamento abbinato ad impianti collettivi di cogenerazione, questi ultimi peraltro in via di sviluppo anche in versioni di ridotte dimensioni.

Va da sé che nessuna soluzione può essere considerata di per sé risolutiva e che l'ottica in cui muoversi non può che essere quella che pragmaticamente proceda caso per caso: è indubbio infatti che in presenza di coperture piane - caratterizzanti taluni centri storici dell'area meridionale, o comunque più o meno isolatamente presenti anche in quelli in cui prevale la tipologia di copertura a falda (nel caso, ad esempio, di sostituzioni moderne di preesistenti unità edilizie, o addizioni a queste ultime) - sia più agevole l'installazione di pannelli solari o fotovoltaici, sempre che il parapetto ne occluda la vista dal basso, e che non esistano luoghi di belvedere, o altri punti di vista privilegiati, da cui essi risultino percepibili; così come, lo si è già accennato, nel caso di vasti e articolati complessi edilizi, anche monumentali e tanto più se a destinazione specializzata, è sicuramente più probabile che possano essere individuati corpi di fabbrica annessi, magari di servizio e di scarso pregio, o comunque falde e coperture piane secondarie e defilate, che si prestino all'installazione di pannelli solari e/o fotovoltaici; e lo stesso dicasi per l'impiego dei sistemi passivi, o addirittura per l'installazione di microturbine ad asse verticale.

Una prospettiva sicuramente interessante è offerta dai coppi in cui le celle di silicio sono completamente inglobate nel corpo degli stessi, essendo questi realizzati in composto polimerico caricato con polveri naturali, tale da risultare alla vista del tutto analogo al materiale tradizionale e di consentire al contempo ai raggi solari di filtrare attraverso la superficie esterna (come fosse trasparente) e raggiungere le celle fotovoltaiche. Tale tecnologia (c.d. "fotovoltaico invisibile"), applicabile anche ad altri elementi di finitura, è emersa peraltro nell'ambito dell'edizione 2010 del concorso di idee periodicamente promosso dall'Associazione *Marevivo* e da vari Enti e Amministrazioni tra cui il MiBACT, ed è attualmente in fase di ottimizzazione e verifica con il supporto dell'ENEA.

Il caricamento con polveri naturali dovrebbe consentire peraltro di ottenere i diversi caratteri cromatici tipici delle tradizioni costruttive locali in relazione alle argille disponibili nei vari ambiti territoriali regionali e sub-regionali, oltre che caratteristiche materiche analoghe a quelle dei normali elementi laterizi; prototipi sono stati realizzati anche riproducendo pietre da rivestimento, pannelli di intonaco e finanche elementi lignei, applicazioni che aprono tuttavia la riflessione attorno a taluni assunti del restauro, quali quello dell'autenticità e della riconoscibilità della materia.

Un cenno meritano infine le opportunità offerte, ai fini dell'impiego del fotovoltaico nei centri storici, dagli elementi di arredo urbano (corpi illuminanti, pensiline, insegne ecc.) fondamentalmente riconducibili al dibattuto tema dell'inserimento di 'segni contemporanei' nel contesto storico, in grado ad un tempo di rivelarsi come tali e di dialogare con il contesto

medesimo: appaiono ben esemplificativi di un tale approccio gli elementi autoilluminanti fotovoltaici a bandiera (*solar flags*) collocati nelle grandi arcate che articolano le mura del Castello Doria di Portovenere, o l'insegna fotovoltaica collocata all'ingresso del Castello di San Giorgio a La Spezia, sede del Museo Civico Archeologico.

Anche i pannelli fotovoltaici calpestabili, oltre che ovviamente per le coperture a terrazza, potrebbero trovare impiego per ponderate inserzioni nelle pavimentazioni stradali, tali da assicurare comunque il rispetto dei materiali e delle geometrie di posa tradizionali (con impiego, ad esempio, per bordi stradali, pavimentazioni di aree secondarie e di risulta, spazi subito esterni e di contorno rispetto all'abitato storico, ecc.).

4.4.8 – L'architettura rurale tradizionale e il suo contesto

Gran parte del paesaggio italiano è, sostanzialmente, paesaggio agrario, natura umanizzata dalla secolare attività agricola, e sulla sua oculata gestione - quale risorsa culturale ed economica ad un tempo - si gioca la sfida della cancellazione o della trasmissione al futuro dell'identità paesaggistica di tante aree del nostro Paese.

Di qui l'attenzione che, nell'ambito delle presenti Linee d'indirizzo, è apparso opportuno pur brevemente riservare all'architettura rurale 'tradizionale' quale elemento che, per l'appunto, tanto concorre a connotare e 'costruire' tale identità; fermo restando che le considerazioni qui svolte - pertinenti in sostanza edifici di valore storico-architettonico e storico-testimoniale collocati in posizione isolata - possono in linea generale ben attagliarsi ad altre architetture che parimenti punteggiano il nostro territorio, quali chiese e cappelle, complessi conventuali, ville signorili, fortificazioni.

Per essi - qualora si intervenga direttamente sul corpo di fabbrica - valgono in buona sostanza le considerazioni già svolte per l'edilizia ricadente in un aggregato urbano storico, tanto con riguardo agli edifici e ai complessi 'specializzati' e monumentali che all'edilizia minuta e seriale che di tale aggregato costituiscono il tessuto.

Di un grado sicuramente maggiore di libertà, e di un più ampio spettro di strategie operative, si può invece in genere disporre - entro certi limiti e per certi aspetti - nel caso di edifici e complessi isolati, giacché è possibile avvalersi, per l'utilizzo di sistemi solari attivi, di spazi liberi o manufatti secondari di pertinenza in cui è più agevole applicare quei criteri di allontanamento e di non coinvolgimento diretto dell'edificato storico che, nel caso di interi nuclei urbani - pur di ridotte dimensioni -, risultano, ancorché auspicabili, di assai più complessa attuazione.

E' fin troppo ovvio, infatti, che rimesse, stalle, fienili e altri consimili manufatti di servizio, e ancora tettoie, pergole e finanche muri di contenimento e recinzioni - sia esistenti che di nuova realizzazione - possano prestarsi ad accogliere tanto pannelli fotovoltaici che solari.

L'approccio alla progettazione, ovviamente, non potrà che essere quello già ben delineato nell'Allegato tecnico al DPCM 12.12.2005 ("Relazione paesaggistica") - al quale pertanto si rimanda per ulteriori approfondimenti e dettagli - fondato cioè su di una attenta e penetrante "lettura" del contesto territoriale di riferimento nei suoi molteplici aspetti - morfologico-naturalistici, estetico-percettivi e simbolici, storico-insediativi - onde assicurare la coerenza dell'intervento progettato con tali caratteri.

Va da sé pertanto che andrà innanzitutto adeguatamente individuata - non solo alla scala minuta dell'immediato intorno del sito di intervento, ma a quella del contesto intermedio e finanche, se necessario, alla scala di area vasta - la conca visiva di possibile percezione dell'intervento, con particolare attenzione ai punti di visuale di maggiore godibilità pubblica e che andranno ben

comprese le ‘regole insediative’ del sito, riconoscendone la ‘profondità storica’ e la permanenza nello stato attuale, quali, ad esempio, la ricorrente collocazione dei fabbricati e degli insediamenti rurali in posizione di crinale o di fondovalle, le loro connessioni con la viabilità storica e recente, i caratteri del parcellato agrario e le colture prevalenti, il disporsi del fabbricato principale e di quelli di servizio secondo uno schema a corte o altra configurazione, i caratteri linguistici delle architetture, i materiali tipici e i cromatismi dominanti, il tipo e la disposizione di recinzioni, siepi, filari arborei, alberi isolati o a gruppi, ecc.

Una volta compresa la “sintassi” che gli elementi appena richiamati nel loro insieme e nelle loro reciproche relazioni concorrono a definire, si potrà far ricorso ad un ventaglio ampio di soluzioni e pervenire a scelte anche molto diversificate, ma in ogni caso “appropriate”: installazioni solari o fotovoltaiche potrebbero così, ad esempio, essere concentrate su annessi agricoli di nuova realizzazione appositamente progettati per accoglierle sia a parete che in copertura, ideati in modo da porsi come intervento sinceramente tecnologico e contemporaneo, ma al contempo pienamente adeguato al contesto grazie ad esempio all’oculata scelta dei materiali e dei cromatismi, al rigore formale e alla leggerezza del disegno, alla coerenza con le regole morfologiche e compositive del complesso rurale preesistente a cui si accostano, al calibrato rapporto volumetrico con quest’ultimo, ecc.

Escludendo soluzioni smaccatamente e incongruamente ‘vernacolari’, restano ovviamente percorribili – nella realizzazione di nuovi manufatti – soluzioni che perseguano più espliciti riferimenti alla tradizione costruttiva locale, purché in un quadro di complessiva sobrietà compositiva e linguistica.

E, nel caso si utilizzino manufatti esistenti, va da sé che essi vadano preferibilmente individuati fra quelli di minor pregio e di realizzazione recente, sempre che non risultino collocati in posizione di particolare visibilità: ed anzi l’intervento potrebbe essere occasione per una loro riqualificazione e riconfigurazione in un’ottica di maggiore coerenza con il contesto e con le architetture storiche ivi presenti.

Resta poi pur sempre la possibilità di individuare aree per l’installazione di impianti fotovoltaici o solari a terra, da intendersi qui nelle dimensioni limitate di esclusivo servizio al singolo insediamento rurale, opportunamente individuate in posizione defilata e appartata e realizzate con interposizione, rispetto ai punti di osservazione, di bordure di vegetazione - alberi e/o siepi, eventualmente accompagnate e sostenute da *trillage* in legno o metallo - disposte in modo tale da non creare ombre portate sulle superfici degli impianti; anche l’impiego della vegetazione non dovrà essere casuale e acriticamente progettato, ma conformarsi sia per scelta delle essenze che del sesto di impianto ai ‘modelli’ propri dei luoghi; appare il caso di evidenziare il fatto che l’allineamento rigidamente geometrico di alberature o arbusti specie se dal portamento snello e verticale – a meno che non trovi appunto riferimento nella configurazione propria dei luoghi (es. tradizionale impiego di filari arborei lungo strade o canali, di siepi o filari lungo i confini dei campi, ecc.) – può finire per sottolineare anziché attenuare l’impatto visivo dell’elemento che si intenda schermare; e come invece la creazione di una bordura più compatta e al tempo stesso variegata possa consentire di ottenere un’immagine più ‘morbida’ e di più agevole assorbimento visivo.

Manufatti pertinenziali e di servizio possono anche prestarsi ad accogliere il c.d. “microeolico”, mentre nell’ambito dell’azienda agricola - e dunque a sufficiente distanza dal nucleo edificato - non è detto che non possa essere posizionata una turbina di maggiore potenza su palo autosostenente (c.d. “minieolico”) studiandone attentamente i rapporti di intervisibilità nel contesto circostante alle varie scale di cui si è detto.

Le più recenti ricerche nel settore offrono inoltre prospettive interessanti quali i recinti solari - utilizzabili anche a mo' di *trillage* o accostati a pareti piene o muri di contenimento - i pannelli calpestabili di cui già si è detto e che anche in ambito rurale possono trovare un impiego - con oculato abbinamento a materiali e tessiture tradizionali - per slarghi e percorsi; e ancora le "pietre fotovoltaiche" di cui pure già si è detto segnalandone la problematicità di applicazione in relazione ai principi del restauro e che, lungi dal poter essere impiegate ad integrazione di facciate storiche autenticamente in pietra, potrebbero però trovare oculato utilizzo in muri di contenimento e di recinzione.

4.5 Analisi economica degli interventi

4.5.1 Introduzione

L'analisi economica è un aspetto molto importante della progettazione degli interventi di riqualificazione energetica, spesso trascurato dai progettisti termotecnici, che deve essere effettuata ricorrendo a parametri oggettivi, qui di seguito definiti.

4.5.2 I parametri di interesse

L'analisi economica di una riqualificazione energetica è uno degli elementi di supporto alla diagnosi energetica, come ben descritto in precedenza, e alla progettazione dell'intervento di riqualificazione.

Tra i criteri essenziali dell'analisi vanno citati:

- il risparmio di energia primaria conseguito con ognuno degli interventi rispetto alla situazione esistente;
- le emissioni di anidride carbonica evitate;
- la redditività economica dell'investimento, a prescindere dai contributi pubblici.

Risparmio di energia primaria, RE: è il risparmio annuo di energia di origine fossile, espresso in [kWh/anno], che la soluzione proposta è in grado di conseguire rispetto al sistema energetico preesistente cui è demandata la produzione delle medesime quantità di energia finale, termica frigorifera ed elettrica, consumate dal parco delle utenze in esame. Sono considerate fonti fossili tutti i combustibili commerciali direttamente o indirettamente derivati da carbone, petrolio e gas naturale. Oltre alle fonti energetiche rinnovabili propriamente dette: sole, vento, energia idraulica, sono considerate tali anche: le biomasse di qualsiasi origine, gli scarti di lavorazione di cui è ammessa la combustione, i recuperi di calore da processi industriali, il calore geotermico.

Ovviamente, non va considerata l'energia prodotta da fonte rinnovabile né nel sistema esistente né in quello in progetto. Per loro stessa definizione, eventuali energie rinnovabili in ingresso ai sistemi energetici che vengono posti a confronto (sistema innovativo e sistema sostituito) non contribuiscono comunque ai consumi di energia primaria di origine fossile.

Emissioni evitate di anidride carbonica, RA: sono date dalla differenza di emissioni ottenibile a seguito della riqualificazione e tiene conto di tutti i miglioramenti ambientali conseguibili; in particolare, ai fini della migliore allocazione delle risorse, potrebbe essere importante favorire soluzioni che:

- presentano un più favorevole rapporto fra risorse economiche impegnate e risultati attesi;
- possono entrare in esercizio in tempi relativamente brevi, in modo da tener conto del valore dei benefici cumulati che il progetto è in grado di produrre entro cinque anni dal momento in

cui viene effettuata l'analisi.

Per tener conto di questi aspetti si utilizza il RAI, definito come rapporto tra le emissioni evitate attualizzate cumulate e gli investimenti attualizzati necessari per la realizzazione del progetto innovativo; è espresso in [kg CO₂/M€]. Come si evince dalla sua definizione, il RAI non tiene conto della valenza puramente economica del progetto, intesa come capacità di fornire reddito dall'investimento.

Anche in questo caso, come per il risparmio energetico, devono essere considerate nulle le emissioni di anidride carbonica relative all'impiego di eventuali quote di energie rinnovabili, siano esse impiegate nel sistema proposto o nel sistema sostituito.

Redditività dell'investimento, VAN e TIR: è un requisito molto importante, in quanto rappresenta la sola garanzia della sopravvivenza dell'impianto per l'intera durata della sua vita tecnica, quindi dell'effettivo conseguimento dei benefici ambientali che il progetto potenzialmente è in grado di conseguire.

La valenza economica delle diverse soluzioni di riqualificazione, caratterizzate da piani di investimento pluriennali, può essere valutata con il VAN, valore attuale netto, e con il TIR, tasso interno di redditività. La relazione per calcolare il VAN è la seguente:

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Se è $VAN > 0$ il progetto è accettabile, mentre se risulta $VAN < 0$ il ritorno del progetto è inferiore al tasso r .

Il TIR viene usualmente valutato con il metodo del flusso di cassa FC, assumendo le seguenti ipotesi: tasso di attualizzazione $i = 5\%$; vita utile degli impianti $n = 20$ anni:

$$\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

4.6 Programma di conduzione e manutenzione degli impianti nell'edilizia storica

4.6.1 Introduzione

Il Codice dei Beni Culturali (d.lgs. 42/2004) per la prima volta inserisce il concetto di manutenzione all'interno della legislazione nazionale sulla tutela del patrimonio architettonico e paesaggistico (art. 29, comma 3). Nell'ambito di un più ampio concetto di "conservazione programmata", si precisa che anche in questo campo il Ministero deve stabilire indirizzi, direttive e obiettivi anche in questo specifico settore.

La manutenzione degli impianti installati deve pertanto essere prevista obbligatoriamente in fase progettuale, deve essere inserita all'interno del piano di manutenzione generale e deve essere in coerenza con le esigenze espresse per la corretta conservazione nel tempo dell'intero edificio.

Anche per le esigenze di manutenzione valgono tutti i criteri esposti al capitolo sugli interventi edilizi; non basta infatti scegliere posizionamenti idonei secondo l'istanza conservativa: occorre anche prevedere la periodica accessibilità degli impianti evitando che questa comporti danni all'esistente. Inoltre, bisogna avere cura di controllare le caratteristiche fisico chimiche e il comportamento dei nuovi materiali nel tempo per evitare il manifestarsi di fenomeni non compatibili con la corretta vita dell'edificio antico.

L'efficienza energetica complessiva di un edificio è funzione anche del livello di manutenzione

operato, con particolare riferimento, come è ovvio, per la gestione e manutenzione degli impianti tecnici. In questa sezione verrà fatto qualche cenno sul concetto di manutenzione degli impianti termici, rimandando l'aspetto relativo agli impianti elettrici ad altra documentazione più specifica. Qui di seguito sono riportati i principi generali di questo argomento.

4.6.2 Il servizio di manutenzione

Il servizio di manutenzione è costituito da un mix di attività integrate, finalizzate a garantire il mantenimento e l'eventuale miglioramento di beni edilizi, beni urbani, impianti e così via, che occorre predisporre ed erogare al fine di conseguire gli obiettivi di gestione. La caratteristica di un servizio di manutenzione è che oltre agli interventi di manutenzione veri e propri prevede anche altre attività, quali quelle finalizzate alla conoscenza dei beni oggetto dell'appalto (anagrafe), quelle che concernono le modalità di conservazione dei beni, quelle che descrivono il corretto funzionamento dei beni (piano di manutenzione), quelle di misura, analisi e controllo e, appunto, quelle di progettazione e attuazione degli interventi di efficienza energetica.

Le norme cogenti in tema di manutenzione sono:

il DPR 380/2001, che all'art. 3 definisce gli interventi di manutenzione ordinaria come *gli interventi che riguardano le opere di riparazione, rinnovamento e sostituzione delle finiture degli edifici e quelle necessarie ad integrare o mantenere in efficienza gli impianti tecnologici esistenti* e gli interventi di manutenzione straordinaria come *le opere e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici, sempre che non alterino i volumi e le superfici delle singole unità immobiliari e non comportino modifiche delle destinazioni di uso.*

il DPR 207/2010, che all'art. 3 definisce la manutenzione come *la combinazione di tutte le azioni tecniche, specialistiche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'opera o un impianto nella condizione di svolgere la funzione prevista dal provvedimento di approvazione del progetto.*

Esistono poi norme che in materia chiariscono il concetto di servizio di manutenzione in sostanziale coerenza con la legislazione vigente. Tra queste, vanno ricordate:

la UNI 11136, che definisce il Global Service di sola manutenzione come *il sistema integrato di attività di manutenzione immobiliare, per un periodo di tempo definito, (contratto riferito ad una pluralità di servizi sostitutivi delle normali attività di manutenzione) finalizzate a garantire la disponibilità di un immobile o di un patrimonio immobiliare, con piena responsabilità da parte dell'assuntore sui risultati in termini di raggiungimento/mantenimento di livelli prestazionali prestabiliti dal committente;*

la UNI 10992, che definisce la manutenzione immobiliare come *il complesso di attività e servizi finalizzati a garantire l'utilizzo di un bene immobiliare, mantenendone il valore patrimoniale e le prestazioni iniziali entro limiti accettabili per tutta la vita utile e favorendone l'adeguamento tecnico e normativo alle iniziali o nuove prestazioni tecniche scelte dal gestore o richieste dalla legislazione* e il servizio di manutenzione come *l'insieme di funzioni per la manutenzione offerte ad un utilizzatore da una organizzazione;*

la UNI EN 13306, che definisce la manutenzione come *la combinazione di tutte le attività tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di una entità, volte a mantenerla o a riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta;*

la UNI EN 15331, che definisce i *"Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione degli immobili".*

4.6.3 Il piano di manutenzione

Il Piano di manutenzione dell'edificio storico può essere definito come il documento che ha lo scopo di mantenere il bene nella corretta efficienza e funzionalità, nel rispetto delle esigenze conservative dell'edificio.

La norma UNI 10874 specifica i criteri per la stesura dei manuali d'uso, di conduzione tecnica e di manutenzione.

Il piano di manutenzione fa riferimento alla previsione del complesso di attività inerenti la manutenzione di cui si presumono la frequenza, gli indici di costo orientativi e le strategie di attuazione nel medio e nel lungo periodo. In Figura 11 è riportato lo schema dei documenti operativi del Piano di manutenzione. Il programma di manutenzione fa riferimento all'esecuzione delle attività di manutenzione previste dal piano e inserite nel bilancio annuale di spesa.

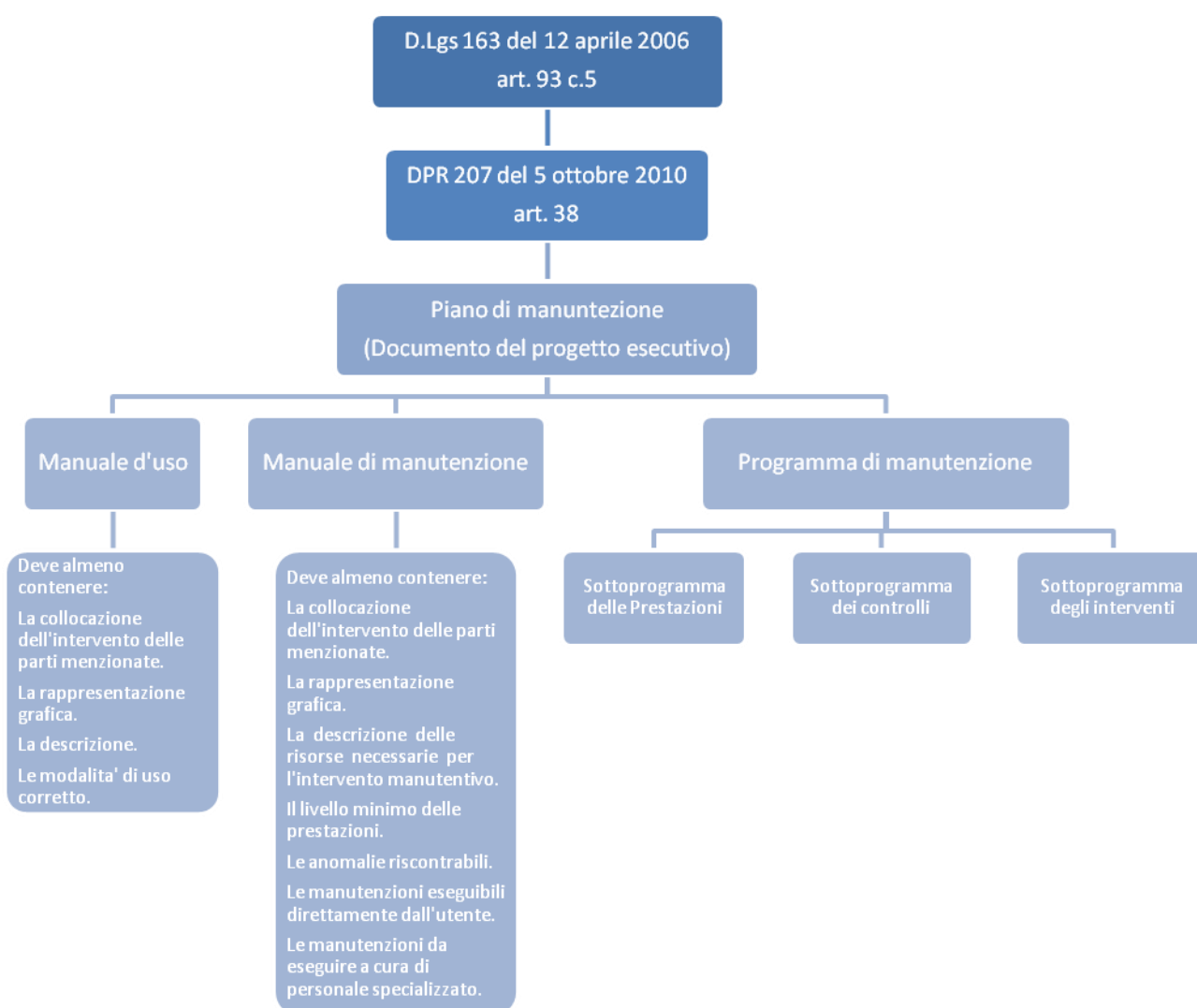


Fig. 11 - Schema dei documenti operativi del Piano di manutenzione. Da (UNI 10874)

Nel caso di interventi di recupero edilizio, quali i progetti di manutenzione associati ai progetti di costruzione, devono essere disponibili le informazioni necessarie al servizio di manutenzione, progressivamente raccolte in forma sistematica e guidata ed archiviate opportunamente per successivi controlli.

Nel caso di interventi su edifici storici, la stesura del programma di manutenzione deve essere preceduta da un'attenta ricognizione della documentazione di progetto per quanto disponibile, e da un suo confronto con lo stato di fatto dell'immobile.

4.6.4 La manutenzione degli impianti di climatizzazione

I sistemi di condizionamento dell'aria e di ventilazione devono essere progettati, costruiti e installati in modo tale da consentire la pulizia di tutte le superfici interne e di tutti i componenti, in conformità con le disposizioni della norma UNI 12097 e delle Linee Guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva degli impianti di climatizzazione del Ministero della Salute (2006) nelle quali, tra l'altro, vengono indicate le figure professionali per il personale operativo, categoria B, e per i responsabili dell'igiene, categoria A. Ciò costituisce premessa indispensabile affinché tali sistemi possano funzionare ed essere mantenuti in modo tale che i requisiti igienici siano permanentemente rispettati. A questo proposito devono essere effettuate ispezioni tecniche e manutentive regolari oltre che frequenti controlli igienici da parte di personale specializzato, all'uopo incaricato. Occorre pertanto prevedere l'istituzione di un Registro per la documentazione degli interventi di manutenzione, ordinari e straordinari, sugli impianti idrici e di climatizzazione.

Il primo controllo deve avvenire contestualmente all'attivazione dell'impianto al fine di accertare che sia stato posto in opera pulito e sanificato da eventuali impurità, quali detriti e polvere di cantiere; questa operazione va quindi sempre prevista negli edifici storici in cui viene per la prima volta installato un impianto HVAC. I successivi controlli devono avere cadenza regolare e, se si rivelasse necessario, gli impianti devono essere puliti da personale qualificato.

I filtri devono essere ispezionati regolarmente e, in caso di contaminazione, devono essere sostituiti anche se non è terminata la loro vita utile. Questo argomento è oggetto di un testo della Collana AiCARR⁸⁷ in cui, oltre alle tematiche connesse al funzionamento dei filtri, si affrontano anche le tematiche relative al consumo energetico associato alla filtrazione.

La salvaguardia delle condizioni igieniche, per i sistemi impiantistici che utilizzano l'acqua, deve essere effettuata mediante regolari controlli e procedure di sanificazione, inclusa l'eventuale sterilizzazione dei componenti. La carica totale batterica nell'acqua delle sezioni di umidificazione, misurata con il metodo EN/ISO 6222, non deve superare 1.000 CFU/ml (106 CFU/L) e deve essere controllata periodicamente. Gli aspetti legati al rischio legionella sono ampiamente trattati nella Guida AiCARR, Prevenzione della legionella negli edifici, nei sistemi idronici e nei sistemi HVAC, (2014).

Le ispezioni devono prevedere controlli tecnici e test in accordo con la normativa vigente.

4.7 Recupero e riqualificazione dell'edilizia moderna e contemporanea

4.7.1 Ricerca di soluzioni progettuali e componenti tecnologiche innovative

La ricerca progettuale che voglia mirare alla massima qualità del risultato, sia sotto il profilo dell'elevata prestazione funzionale, sia sotto quello della necessaria compatibilità con le

⁸⁷ Tronville P., La filtrazione dell'aria negli impianti di climatizzazione, 2013

presistenze storiche e paesaggistiche, non può prescindere dall'approccio multidisciplinare nel considerare forme d'integrazione di saperi e competenze.

Negli interventi per la riqualificazione e rifunzionalizzazione del patrimonio edilizio esistente

le istituzioni pubbliche sono quindi chiamate a operare per dare o restituire qualità ai sistemi complessi e articolati del vivere quotidiano e con essi, all'ambiente fisico che ci circonda, coniugandole con le prescrizioni collegate agli obiettivi europei di efficientamento energetico.

In quest'ottica, l'azione che è volta a promuovere la conservazione e la riqualificazione del patrimonio architettonico già riconosciuto di valore storico- artistico, deve necessariamente fondersi con quella volta ad assicurare qualità ed efficacia all'intervento di rivalutazione e rigenerazione del patrimonio di epoca più recente, come anche all'attenzione e alla cura della progettazione degli interventi che incidono sulla trasformazione del paesaggio, in un'ottica di complessiva armonizzazione, per dare o restituire qualità dell'ambiente che ci circonda.

Le linee d'intervento sostenibile sul patrimonio esistente devono dunque collegare la qualità dell'intervento conservativo e, nello stesso tempo, assicurare il medesimo livello qualitativo per quegli interventi di nuova progettazione che possano incidere positivamente sul contesto urbanistico e ambientale, sia in termini di emissioni, sia di consumi energetici: in definitiva, di qualità delle soluzioni impiantistiche e tecnologiche, studiate con un approccio progettuale integrato e pluridisciplinare, per dare risposte coerenti alle "Azioni Integrate per lo Sviluppo sostenibile" attraverso azioni in linea con le indicazioni della Commissione Europea.

Nell'agire quotidiano delle diverse istituzioni territoriali ci si trova dunque a promuovere o valutare proposte d'intervento dettate dalle esigenze di efficientamento energetico che riguardano architetture degli spazi urbani o dei loro contesti ambientali, la cui lettura deve avvalersi degli strumenti della cultura contemporanea, utilizzandone tutte le potenzialità e opportunità, in una chiave di pieno rispetto dei valori del patrimonio storico e paesaggistico, per recuperare o promuovere un rapporto equilibrato tra opera e ambiente naturale. Interventi che possono inserirsi degnamente anche in contesti ambientali delicati, senza invaderne il significato complessivo, ma anzi valorizzandoli con un segno contemporaneo, che integri la qualità dell'organizzazione degli spazi.

L'obiettivo specifico è dunque favorire l'attenzione all'uso sostenibile delle risorse energetiche, ambientali, naturali, quale parte integrante del processo di progettazione.

In quest'ottica si muovono le diverse azioni e iniziative promosse dal Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, a partire dall'impegnativa attività di presidio e tutela che le Soprintendenze conducono nell'operare quotidiano.

Significativo inoltre il percorso di collaborazione e confronto con il Ministero dello sviluppo economico, con il Ministero dell'ambiente e con le Regioni, nel quale ha trovato positiva conclusione il lavoro avviato negli anni scorsi per la definizione e approvazione delle *Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*, adottate nel 2010⁸⁸; esse s'intendono in questo caso utilizzabili nell'ottica di progetti che coniughino il tema della sostenibilità con le esigenze di conservazione e recupero del patrimonio d'interesse culturale, oltre che per il migliore inserimento delle nuove realizzazioni nel paesaggio. Tra le iniziative su cui si è mosso già negli anni scorsi l'impegno del MiBACT in questa direzione, si è dato spazio alla selezione mirata d'interventi che potessero efficacemente rappresentare esempi di qualità

⁸⁸ Cfr. Ministero dello sviluppo economico – decreto 10 settembre 2010 (G.U. n. 219 del 18 settembre 2010.) – *Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*.

selezionati sulla base di criteri coerenti con le esigenze delle amministrazioni. In tal senso, pur tenendo conto della rapida evoluzione della ricerca tecnologica e impiantistica, appare utile citare il progetto *Sustainab Italy* promosso nell'ambito del progetto di ricerca "Contemporary ecologies. Energies for Italian Architecture" curato dal MiBACT. La rassegna di progetti incentrati sulla sostenibilità che si è tenuta nel 2008 offre uno spaccato di progetti firmati da giovani architetti italiani attenti a coniugare la qualità formale ed estetica con le istanze sociali, il rispetto dell'ambiente, l'innovazione e il recupero del patrimonio edilizio.⁸⁹ L'iniziativa ha visto un successivo sviluppo da parte della PaBAAC nella condivisione con le azioni promosse insieme agli Istituti Italiani di Cultura all'estero.

Parimenti, le azioni del MiBACT si sono orientate alla diffusione di una maggiore sensibilità progettuale, tecnica e produttiva - tra i progettisti, i produttori e le aziende - in stretto collegamento con le politiche d'incentivazione delle tecnologie da fonti rinnovabili

Su questi temi la Direzione PaBAAC ha costruito nel 2010 un percorso di collaborazione attraverso la stipula di un protocollo d'intesa con il GSE⁹⁰ finalizzato allo sviluppo della progettazione architettonica di qualità con l'utilizzazione delle tecnologie solari e dell'energia fotovoltaica, che ha portato all'organizzazione di un premio (assegnato nel novembre 2010) per le migliori realizzazioni finanziate con il secondo Conto Energia.

Un percorso finalizzato anche alla promozione di soluzioni innovative per l'impiego di fonti rinnovabili - a partire dall'utilizzo del sistema fotovoltaico - indirizzato a premiare la ricerca di componenti tecnologiche e soluzioni progettuali non invasive del paesaggio e compatibili con il rispetto del patrimonio culturale.⁹¹

Occasioni di riflessione sull'uso consapevole delle risorse energetiche nella progettazione d'interventi e di sistemazioni architettonico - ambientali nascono anche dall'esperienza condotta dal MiBACT per la partecipazione al *Premio del Paesaggio del Consiglio d'Europa*.⁹²

Allo stesso modo può citarsi l'esperienza del progetto *Qualità Italia - Concorsi per la qualità dell'architettura*, inquadrato nell'ambito del programma *Sensi Contemporanei* promosso dal MiBACT e dal MISE in collaborazione con le Regioni del Sud Italia, che ha visto la realizzazione di concorsi per l'architettura da parte di Comuni e Province del Sud d'Italia per interventi di opere pubbliche. Anche questa esperienza ha offerto occasione per una costante valutazione anche di come possano utilmente applicarsi i principi di qualità delle realizzazioni e di sostenibilità delle

⁸⁹ Cfr. *Contemporary ecologies. Energies for Italian Architecture* ricerca curata dal MiBACT (avvio selezione da parte ex DG DARC, poi PARC). Il programma *Sustainab Italy* ha visto più tappe (Brasilia 2006, Londra 2008). Il progetto è stato poi portato nel 2009 e 2010 a Singapore e Vilnius in collaborazione con il MAE, attraverso gli Istituti Italiani di cultura.

⁹⁰ Il *Gestore dei Servizi Energetici - GSE S.p.a* ha tra i propri compiti la promozione, l'incentivazione e lo sviluppo delle fonti rinnovabili in Italia. Azionista unico del GSE è il Ministero dell'Economia e delle Finanze che esercita i diritti dell'azionista con il Ministero dello Sviluppo Economico (cfr. anche sistema informativo geografico chiamato *Atlasole* sulla situazione italiana su impianti fotovoltaici).

⁹¹ Protocollo d'intesa stipulato dalla DG PaBAAC nel 2010 con il GSE che ha portato all'organizzazione del Premio GSE/MiBACT per la qualità nell'impiego del sistema fotovoltaico in architettura. (cfr. giornata di studi organizzata dal Servizio V DG PaBAAC con GSE presso il MaXXI. Roma, maggio 2010).

⁹² La *Convenzione Europea del Paesaggio*, di cui l'Italia è stata nel 2000 tra i principali promotori e di cui nell'ottobre 2010 si è svolta a Firenze la celebrazione del decennale - è e resta un punto di riferimento imprescindibile per le politiche e le scelte di attuazione di programmi e progetti. La Convenzione all'art 11 prevede, a cadenza biennale, lo svolgimento del Premio del Paesaggio del Consiglio d'Europa quale occasione per monitorare l'applicazione delle politiche che s'ispirano ai suoi principi.

stesse, attraverso l'integrazione delle competenze delle diverse amministrazioni pubbliche, nel rispondere a bisogni collettivi di dotazioni di servizi anche di natura e tipologia molto diverse, ma selezionati con criteri di qualità.⁹³

Parimenti, in ambito regionale e presso gli enti locali, possono citarsi le numerose esperienze positive scaturite dall'applicazione del protocollo ITACA⁹⁴, che ha visto l'emanazione di bandi a carattere premiale volti al perseguimento di sistemi innovativi di gestione delle risorse energetiche nell'edilizia pubblica e privata.

L'analisi delle azioni positive già in atto contribuisce a delineare gli orientamenti e i concreti comportamenti positivi di molte realtà territoriali, per farne patrimonio comune e nuova occasione di sollecitazione per le realtà meno avanzate.

Occasioni in cui piani e progetti mirati all'uso responsabile del territorio, sono letti anche in chiave di sviluppo economico, per sollecitare l'azione comune verso la complessiva attenzione alla qualità degli interventi, per mantenere/migliorare la qualità della vita delle comunità territoriali.

In definitiva, si riepilogano alcuni aspetti che in fase di progettazione di nuovi interventi o d'inserimenti impiantistici in contesti preesistenti di epoca anche recente, si ritiene debbano essere sviluppati prioritariamente:

- favorire, promuovere e diffondere in modo sistematico le esperienze di qualità del progetto volto a migliorare l'efficienza energetica in un'ottica di sostenibilità, con l'obiettivo generale di migliorare le nuove realizzazioni sul territorio e la qualità della vita di chi lo abita.
- favorire, promuovere e tenere vivo a tutti i livelli anche operativi, il confronto costante con gli sviluppi della ricerca tecnologica, della sperimentazione e la collaborazione tra i diversi soggetti istituzionali, assicurando un'opportuna cooperazione con le associazioni professionali e imprenditoriali che operano in un'ottica di sostenibilità
- favorire e sostenere la formazione specialistica e il conseguente apporto innovativo delle giovani generazioni di operatori pubblici, ricercatori, professionisti, che appare essenziale per diffondere l'attenzione alla componente tecnologica che deve fondersi con una crescente sensibilità sulle tematiche della salvaguardia dell'ambiente storico, culturale e naturale.

Lo sviluppo sostenibile, è un processo di cambiamento che richiede scelte precise e che deve fondarsi sull'impegno di tutti ai diversi livelli di partecipazione, per preservare e coniugare l'uso delle risorse primarie con quelle di conservazione e riqualificazione del patrimonio culturale.

Si ha in definitiva la consapevolezza che è necessario promuovere cambiamenti negli atteggiamenti e nei comportamenti individuali e collettivi, per l'uso consapevole delle risorse naturali e culturali e per operare con la massima attenzione alla qualità delle trasformazioni contemporanee.

⁹³ Il progetto QI attua un Accordo di programma multi regionale per l'attuazione di 13 interventi programmati e finanziati dagli Enti territoriali prevalentemente a valere su risorse comunitarie 2007-2013, per i quali la DG PaBAAC e il DPS hanno fornito assistenza e supporto specialistico allo svolgimento di concorsi di architettura. Gli interventi sono ora in fase di realizzazione da parte degli enti territoriali (cfr. anche sito www.sensicontemporanei.qualitalia.it).

⁹⁴ ITACA - Istituto per l'innovazione e la trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale cfr. www.itaca.org

5 – SCHEDE ILLUSTRATIVE

1. Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici in copertura di edifici storici. Il tetto dell'Università di Osnabrück

Localizzazione: Osnabrück, Germania,

Edificio: Università di Osnabrück – sec. XIX - XX

Rifacimento del tetto con sistemi fotovoltaici

Tecnologia: Thyssen Krupp Solartech (Fonte: http://www.pvdatabase.org/pdf_prod/Solartec-prospect_English.pdf)

Anno di realizzazione: 2008

Potenza: 2,53 kWp.



2. Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici in copertura di edifici storici. Bonifica del tetto di una Grangia storica nella regione di Auvergne, Francia

Localizzazione: Cézallier, Puy de Dôme – Alvernia (Auvergne) – Francia/

Edificio, progetto: Grangia storica, conversione di tetto e bonifica amianto

Tecnologia: Imerys (Tegole fotovoltaiche FAG 10) (Fonte:

http://sycomoreen.free.fr/syco_deutsch/solaire_thermoelec_grangePV_deu.html)

Anno di realizzazione: 2008

Potenza: 16 kWp (144 m² di pannelli)



3. Fotovoltaico. Inserimento di pannelli fotovoltaici sui prospetti di edifici storici.

Pannello di segnalazione: Museo civico archeologico Ubaldo Formentini

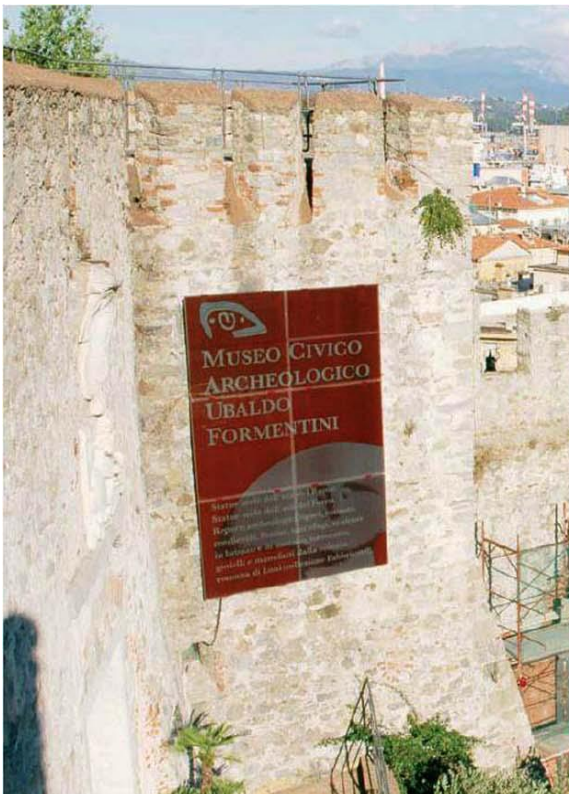
Localizzazione: La Spezia, Italia

Edificio/progetto: Museo civico archeologico Ubaldo Formentini

Tecnologia: Dispositivi fotovoltaici a rivestimento semitrasparente perforato (fonte: pvaccept.de),

Anno di realizzazione: 2004

Potenza: -



4. Fotovoltaico. Inserimento di vetrate fotovoltaiche in edifici storici. Le vetrate della *Compagnie parisienne de distribution d'électricité*

Localizzazione: Parigi – Francia

Edificio: Ex sede della *Compagnie parisienne de distribution d'électricité* – XIX sec.
Conversione in centro multifunzionale sociale, culturale e sportivo

Tecnologia: Architetti F. Chochon – L. Pierre (fonte:...),

Anno di realizzazione: 2009 – 2014 (in corso)

Potenza: --



**5. Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici.
Nuovo edificio a Parigi, prospetti fotovoltaici.**

Localizzazione: Quai de Valmy, Paris 10 – Francia

Edificio/ progetto: Abitazioni e uffici

Tecnologia: Sunways (Fonte: <http://www.sunways.eu/it/>), Emmanuel Saadi architect

Anno di realizzazione: 2011

Potenza/ Dati tecnici: - .

130 moduli solari in vetro realizzati su misura - superficie 170 m2. Predisposti circa 70 diversi sotto-formati.



6. Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici.

Ampliamento dell'Istituto di patologia di Erlangen - superfici vetrate fotovoltaiche

Localizzazione: Erlangen – Germania

Edificio/ Progetto: Ampliamento dell'Istituto di Patologia

Tecnologia: Voltarlux/ Arnoldglass - Vetro speciale con incorporate cellule fotovoltaiche (fonte: http://www.voltarlux.de/index.php?article_id=18&clang=0),

Anno di realizzazione: --

Potenza: - . (superficie di pannelli 23 x7 = 161 m2)



7. Fotovoltaico. Inserimento accanto ad edifici storici. Il cupolone nel giardino del castello Montabaur

Localizzazione: Montabaur, Koeln – Germania

Edificio/ progetto: Castello / Schloss Montabaur. Conversione ad albergo con terme e area conferenze. Cupolone fotovoltaico sopra l'area interrata.

Tecnologia: Voltarlux/ Arnoldglass - Vetro speciale con incorporate cellule fotovoltaiche (fonte: http://www.voltarlux.de/index.php?article_id=18&clang=0),

Anno di realizzazione: 2011

Potenza: -



8. Fotovoltaico – tipologie di superficie vetrate/ 1

Localizzazione: Stuttgart – Germania,
Edificio/ progetto: Hochschule fuer Technik
Tecnologia: -
Anno di realizzazione: -
Potenza: -



Localizzazione: Konstanz – Germania
Edificio/ progetto: Energiewurfel (Dado energetico)
Tecnologia: Sunways/ 638 celle solari semitrasparenti. Oltre a produrre energia fungono anche da elementi oscuranti: gli incavi quadrati delle celle solari lasciano filtrare negli ambienti interni il 10% della luce solare incidente. Combinati agli spazi tra le celle, permettono di ottenere una facciata con una trasparenza del 22%.
Anno di realizzazione: 2010
Potenza: Max. 23,2 kW



9. Fotovoltaico – tipologie di superficie vetrate/ 2

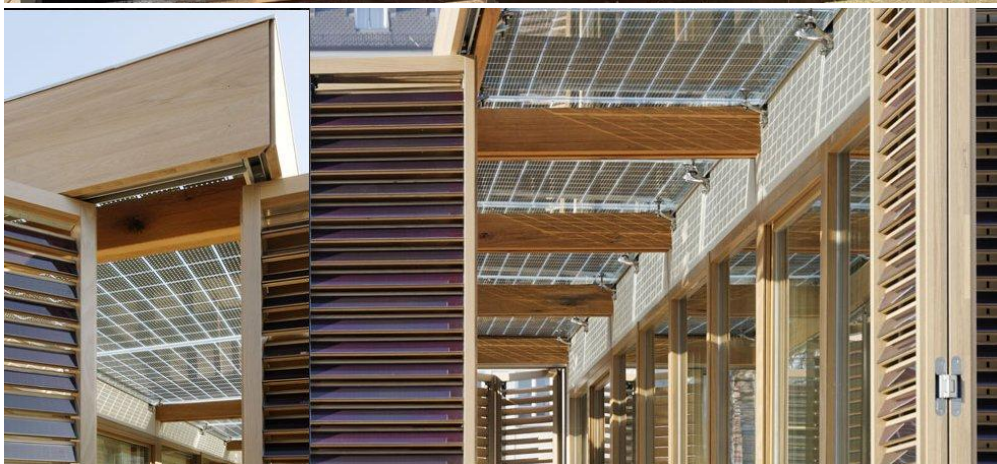
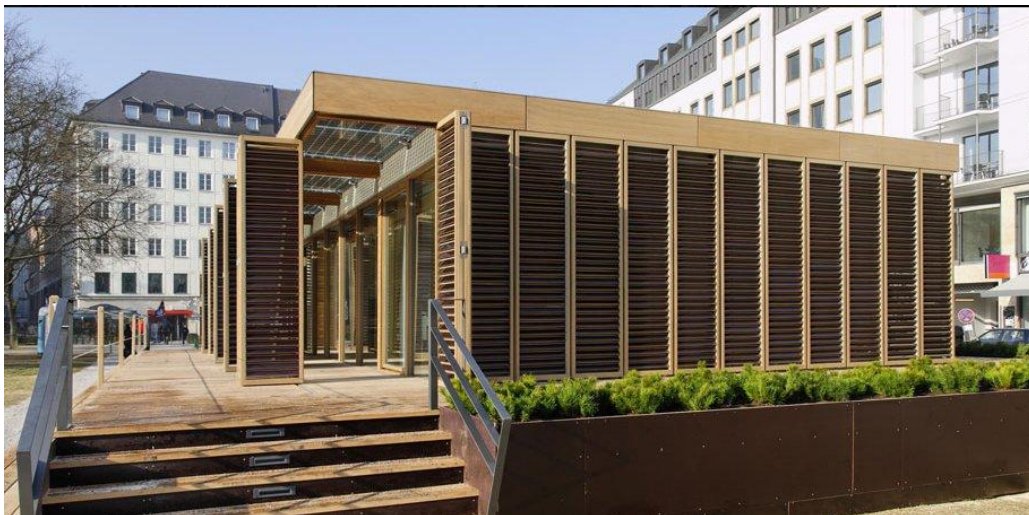
Localizzazione: Muenchen/ Hannover – Germania

Edificio/ progetto: Padiglione energia zero - progetto sperimentale itinerante

Tecnologia: Sunways

Anno di realizzazione: 2010 - 2011

Potenza: -



Localizzazione: Francoforte – Germania

Edificio/ progetto: Westendgate – facciata fotovoltaica

Tecnologia: Sunways

Anno di realizzazione: 2010

Potenza: -



10. Fotovoltaico. Concorso di idee “Energie rinnovabili per le isole minori e le aree marine protette” - 2013. Progetto per il faro di Strombolicchio

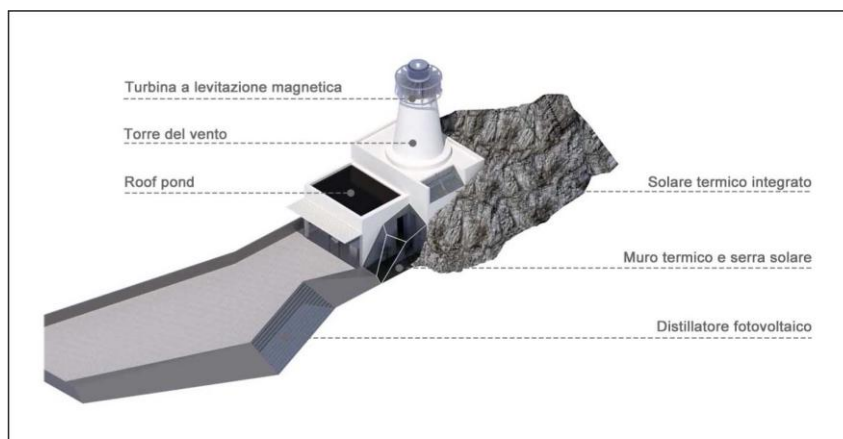
Localizzazione: Strombolicchio di Stromboli, Isole Eolie, Sicilia

Edificio/ progetto: Faro di Strombolicchio - recupero energetico. Progettisti: LB7studio, Lipari (Me). Tra altri elementi si propone anche inserimento di solare termico e fotovoltaico.

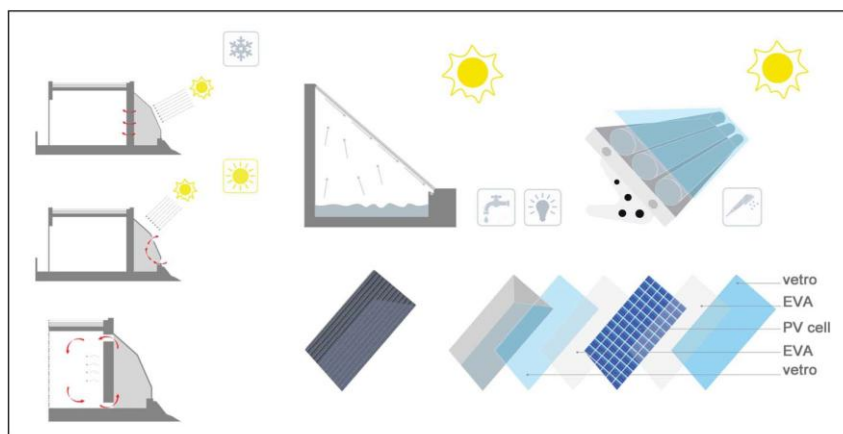
Anno di realizzazione: non realizzato/ idea di progetto

Fonte delle immagini: <http://presstletter.com/2014/04/young-italian-architects-2014-lb7-studio/>

Nota: Attualmente la sorgente luminosa del faro, gestito dalla Marina Militare, è comunque alimentata da pannelli fotovoltaici.



Le tecnologie ecosostenibili coprono il fabbisogno dell'edificio



Muro termico e serra solare - dissalatore fotovoltaico - solare termico

BIBLIOGRAFIA GENERALE

- Adhikari R. et Al., *La valutazione delle prestazioni energetiche negli edifici storici: sperimentazioni in corso*, in: <<Il Progetto Sostenibile>>, n.28, giugno 2011, pp. 20-27.
- Anit, *Correlazione dei Requisiti di risparmio energetico e acustica*, settembre 2008 – www.anit.it.
- Anit, *Sintesi del 30.06.2009 – DPR 59/09 – Attuazione del DLgs 192/05* – www.anit.it.
- Anit, *Sintesi del 15.09.2009 – Linee Guida nazionali per la certificazione energetica* – www.anit.it.
- Barbati C., Cammelli M., Sciullo G. (a cura di), *Il diritto dei beni culturali*, Il Mulino, Manuali, 2006.
- Barbati C., Cammelli M., Sciullo G. (a cura di), *Diritto e gestione dei beni culturali*, Il Mulino, Manuali, 2011.
- Brandi C., *Il restauro. Teoria e pratica 1939-1986*, Basile G. (Postfazione), Cordaro M. (a cura di), Editori Riuniti, 2005.
- Battisti A., *Strategie per il retrofitting degli edifici storici. La riprogettazione dei sistemi impiantistico tecnologici, volti al conseguimento del benessere fisico e ambientale, al contenimento dei consumi energetici e all'integrazione delle energie rinnovabili*, in “Antincendio” n.2, 2011, pp. 106-110.
- Bottero M., Mondini G. (a cura di), *Valutazione e sostenibilità. Piani, programmi, progetti*, Celid, Torino, giugno 2009.
- Cammelli M. (a cura di), Barbati C., Sciullo G. (coordinamento), *Il Codice dei beni culturali e del paesaggio, Commento al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42*, Il Mulino, 2004.
- Cappello F., Di Perna C., *Legge 10 e certificazione energetica degli edifici*, Edilizia, Quaderni per la progettazione, EPC Libri, Roma, ottobre 2009.
- Carbonara G., *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, 1997.
- Carbonara G., *Architettura d'oggi e restauro. Un confronto antico-nuovo*, UTET, 2011.
- Carletti D., Bucci E. (a cura di), *Dal Testo unico al Codice dei beni culturali e del paesaggio*, Ministero per i beni e le attività culturali – Ufficio Studi, Ufficio legislativo – Dossier/4, 2004.
- Cerroni F., *Progettare il costruito: tecnologie per la riqualificazione sostenibile dei siti ad elevata qualità storica e ambientale*, Roma, Gangemi, 2010.
- Commissione Europea, *Un ambiente di qualità, il contributo dell'UE*, Direzione Generale della Comunicazione, Unità pubblicazioni, 2006.
- Ceccherini Nelli L., *Schermature fotovoltaiche*, Firenze, 2007.
- Dall'Ò G. (a cura di), Gamberane M., Silvestrini G., *Manuale della Certificazione energetica degli edifici*, Edizioni Ambiente srl, Milano, 2008.
- Davoli P., *Il restauro energetico-ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale fra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative - parte prima*, in <<Recupero e conservazione>>, n. 90, 2010, pp. 54-65.
- Davoli P., *Il restauro energetico-ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale fra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative - parte seconda*, in <<Recupero e conservazione>>, n. 91, 2010, pp. 40-51.
- Della Torre S., Minati G., *Conservazione e manutenzione del costruito*, in <<Il Progetto Sostenibile>>, n.2, 2004, pp. 12-17.
- Del Corno B., Mottura G., *L' integrazione architettonica dei pannelli solari e fotovoltaici*, Santarcangelo di Romagna, 2013.

De Nisco B., *Le scelte fotovoltaiche per l'edilizia abitativa: alla luce del IV Conto energia*, Santarcangelo di Romagna 2011.

Di Pasquale S., *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, 3^a Ed., Marsilio, 2003.

Docci M., Maestri D., *Il rilevamento architettonico - Storia metodi e disegno*, Laterza, 1984.

Docci M., Maestri D., *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, 1993.

Docci M., Maestri D., *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, 2012.

Fabbri K. et Al., *Il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edilizia preindustriale di base: approccio conoscitivo e strumenti innovativi per il governo delle trasformazioni*, in Atti del convegno: *Scienza e Beni Culturali, Governare l'innovazione. Processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro*, Bressanone, 21-24 giugno 2011, pp. 663-672.

Fabbri K., *Impianti e Conservazione: gli interventi sulla componente impiantistica negli edifici tutelati dal T.U. 490/99*, in <<Paesaggio Urbano>>, n.5, 2003, pp. 30-33.

Feiffer C., *Compatibilità tra conservazione e sostenibilità*, in <<Recupero e Conservazione>>, n.87, 2009, pp. 28-30.

Ferretti A., *Manuale di Diritto dei Beni Culturali e del Paesaggio*, 6^a Ed., Simone, 2013.

Fiorani D. (a cura di), *Restauro e tecnologie in architettura*, Carocci, 2009.

Formez, *Energia e Clima, Beni Comuni*, Edizioni Guerini e Associati Spa, 2008 – Milano.

Fusco Girard L., Nijkamp P., *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*, Franco Angeli, Milano, 1997.

Fusco Girard L., Nijkamp P., *Energia, bellezza, partecipazione: la sfida della sostenibilità*, Franco Angeli, Milano, 2004.

Hermannsdörfer I., Rüb C., *Solar Design. Photovoltaik für Altbau, Stadtraum, Landschaft/ Photovoltaics for Old Buildings, Urban Space, Landscapes*, Berlin, 2005.

Itaca, *Protocollo Itaca 2009, Valutazione energetico - ambientale*, Linee guida, 2009, www.itaca.it.

Ippoliti E. *Rilevare*, Roma, Kappa, 2000, pp. 71-92.

Lodovisi A., Torresani S., *Storia della cartografia*, Patron, 1996.

Lorenzo R., *La città sostenibile*, Elèuthera editrice, Milano, 1998.

Marconi P., *Il restauro e l'architetto. Teoria e pratica in due secoli di dibattito*, 2^a Ed., Marsilio, 2002.

Marino L., *Il rilievo per il restauro. Ricognizioni – Misurazioni – Accertamenti – Restituzioni – Elaborazioni*, Hoepli, 1990.

Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio, *strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia, 2001*, disponibile in rete al sito: www.miniambiente.it.

Metadistretto Veneto della Bioedilizia – Metadistretto Veneto dei Beni Culturali, *Linee guida A.T.T.E.S.S., Edilizia storica e Sostenibilità ambientale. La qualità delle prestazioni energeticoambientali nella manutenzione dell'architettura storica*, inserite il 17 maggio 2011 in: <http://www.veneto.beniculturali.it/eventi-culturali/attest-pubblicazione-delle-linee-guidaedilizia-storica-e-sostenibilit%C3%A0-ambientale>.

Ministero per i Beni Culturali e Ambientali - Soprintendenza Generale agli Interventi post-sismici in Campania e Basilicata – Università degli Studi “La Sapienza” di Roma – Dipartimento di rappresentazione e rilievo, *Capitolato speciale di appalto per il rilevamento architettonico a fini di restauro*, Kappa, 1994.

Monti G., Crova C. (a cura di), *Tutela e conservazione del patrimonio culturale. Lo strumento del vincolo*, Il Prato, 2008.

Morrìca L., *Conservazione integrata del patrimonio architettonico urbano ed ambientale*, Napoli, CLEAN, 2009.

Pagliaro M., Palmisano G., Ciriminna R., *BIPV: il fotovoltaico integrato nell'edilizia: come l'energia solare cambia il futuro delle costruzioni*, Palermo, 2009.

Perago A., *Progettare tetti e coperture: dalla tegola al fotovoltaico. Tipologie e realizzazioni, materiali e tecniche, qualità edilizia ed efficienza energetica, restauro, manutenzione, bonifica*, Santarcangelo di Romagna, 2006.

Pickles D. et Al., *Energy efficiency and historic buildings*, London, English Heritage, 2010.

Rocchi G., *Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali*, 2ª Ed. Hoepli, 1990.

Sandulli A.M. (a cura di), *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, 2ª Ed., Giuffrè, 2012.

Tamiozzo R. (coordinamento), Carletti D., Carpentieri P., Famiglietti G., Pastura M.G., Sandroni D., Ungari P., Veccia G. (contributi di), *Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio – Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42*, Giuffrè, 2005.

Volpe G., *Manuale di diritto dei beni culturali*, 3ª Ed., Cedam, 2013.

Zaretsky M., *Precedents in Zero-Energy Design: architecture and passive design in the 2007 solar decathlon*, New York - London, 2010.

Riviste e periodici:

APPI informa, *Certificazione energetica degli edifici*, Associazione provinciale proprietari immobiliari, confcommercio - Vicenza, ottobre 2009.

CasaClima.KlimaHaus, rivista ufficiale dell'Agencia CasaClima n. 3 settembre 2008, Consulente esperto CasaClima, p. 44-45.

Casa & Clima, rivista sull'efficienza energetica e il confort abitativo n. 18 anno IV – marzo 2009, *Certificazione energetica*, Quine srl editore, p. 23-27.

Casa & Clima, rivista sull'efficienza energetica e il confort abitativo n. 20 anno IV – settembre 2009, *Finalmente le linee guida*, Quine srl editore, p. 25-27.

ENEA, Energia, Ambiente e Innovazione, bimestrale dell'Enea, anno 52, settembre-ottobre 2006.

Il progetto sostenibile, anno 7 – n. 22 giugno 2009, Dossier giugno 2009, *Il sistema di valutazione energetico ambientale Leed in Italia*, Edicom Edizioni.

Siti internet:

www.agenziacasaclima.it

www.agenda21.it

www.ambienteitalia.it

www.ancitei.it

www.anit.it

www.bioarchitettura.it

www.bioarchitettura.org

www.cittasostenibili.minori.it

www.cnr.it

www.edilportale.com

www.enea.it

www.federcasa.it

www.greenbuilding.ca

www.inu.it

www.itaca.org

www.miniambiente.it

www.sicet.it

www.sustainable-cities.org

www.unesco.org

www.unhabitat.org

www.usgbc.org

www.valutazione.it

www.vienergia.it

www.gse.it Atlasole

GSE (Gestore Servizi Energetici), Rapporto statistico 2011 – Solare fotovoltaico,

<http://corrente.gse.it/GSE%20Documenti/Solare%20Fotovoltaico%20Rapporto%20Statistico%20011.pdf>

GSE (Gestore Servizi Energetici), Rapporto statistico 2012 – Solare fotovoltaico,

http://www.gse.it/it/Dati%20e%20Bilanci/GSE_Documenti/osservatorio%20statistico/II%20Solare%20fotovoltaico%202012%20-%20web%20def.pdf

<http://www.sunways.eu/it/prodotti/soluzioni-di-design/>

<http://www.pvdatabase.org/>

Glossario

Attestato di prestazione energetica dell'edificio: documento, redatto nel rispetto delle norme contenute nel d.lgs. 192/2005 e s.m.i. e rilasciato da esperti qualificati e indipendenti che attesta la prestazione energetica di un edificio attraverso l'utilizzo di specifici descrittori e fornisce raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica.

Attestato di qualificazione energetica: il documento predisposto ed asseverato da un professionista abilitato, non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio, nel quale sono riportati i fabbisogni di energia primaria di calcolo, la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, ed i corrispondenti valori massimi ammissibili fissati dalla normativa in vigore per il caso specifico o, ove non siano fissati tali limiti, per un identico edificio di nuova costruzione.

Autorità competente: l'autorità responsabile dei controlli, degli accertamenti e delle ispezioni o la diversa autorità indicata dalla legge regionale, come indicato all'art. 283, comma 1, lettera i) del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Biomassa: frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

Certificazione energetica dell'edificio: il complesso delle operazioni svolte dai soggetti di cui all'articolo 4, comma 1-*bis* per il rilascio dell'attestato di prestazione energetica e delle raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio.

Climatizzazione invernale: fornitura di energia termica utile agli ambienti dell'edificio per mantenere condizioni prefissate di temperatura ed eventualmente, entro limiti prefissati, di umidità relativa.

Climatizzazione estiva: compensazione degli apporti di energia termica sensibile e latente per mantenere all'interno degli ambienti condizioni di temperatura a bulbo secco e umidità relativa idonee ad assicurare condizioni di benessere per gli occupanti.

Cogenerazione: produzione simultanea, nell'ambito di un unico processo, di energia termica e di energia elettrica e/o meccanica rispondente ai requisiti di cui al decreto del Ministro dello sviluppo economico 4 agosto 2011, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 218 del 19 settembre 2011.

Combustione: processo mediante il quale l'energia chimica contenuta in sostanze combustibili viene convertita in energia termica utile in generatori di calore (combustione a fiamma) o in energia meccanica in motori endotermici.

Confine del sistema o Confine energetico dell'edificio: confine che include tutte le aree di pertinenza dell'edificio, sia all'interno che all'esterno dello stesso, dove l'energia è consumata o prodotta.

Conduttore di impianto termico: operatore, dotato di idoneo patentino nei casi prescritti dalla legislazione vigente, che esegue le operazioni di conduzione di un impianto termico.

Conduzione di impianto termico: insieme delle operazioni necessarie per il normale funzionamento dell'impianto termico, che non richiedono l'uso di utensili né di strumentazione al di fuori di quella installata sull'impianto.

Contratto servizio energia: un contratto che nell'osservanza dei requisiti e delle prestazioni di cui al paragrafo 4 del *d.lgs. 30 maggio 2008, n. 115*, disciplina l'erogazione dei beni e servizi necessari alla gestione ottimale e al miglioramento del processo di trasformazione e di utilizzo dell'energia.

Controllo: verifica del grado di funzionalità ed efficienza di un apparecchio o di un impianto termico eseguita da operatore abilitato ad operare sul mercato, sia al fine dell'attuazione di eventuali operazioni di manutenzione e/o riparazione sia per valutare i risultati conseguiti con dette operazioni.

Diagnosi energetica: elaborato tecnico che individua e quantifica le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo dei costi-benefici dell'intervento, individua gli interventi per la riduzione della spesa energetica e i relativi tempi di ritorno degli investimenti nonché i possibili miglioramenti di classe dell'edificio nel sistema di certificazione energetica e la motivazione delle scelte impiantistiche che si vanno a realizzare. La diagnosi deve riguardare sia l'edificio che l'impianto.

Edificio adibito ad uso pubblico: edificio nel quale si svolge, in tutto o in parte, l'attività istituzionale di enti pubblici.

Edificio di proprietà pubblica: edificio di proprietà dello Stato, delle regioni o degli enti locali, nonché di altri enti pubblici, anche economici ed occupati dai predetti soggetti.

Edificio: è un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno. La superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici. il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti. (definizione ai sensi del d.lgs. 192/2005)

Edificio di nuova costruzione: edificio per il quale la richiesta di permesso di costruire o denuncia di inizio attività, comunque denominato, sia stata presentata successivamente alla data di entrata in vigore di una specifica disposizione di norma.

Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del d.lgs. 192/2005 e s.m.i., che rispetta i requisiti definiti dalle disposizioni vigenti. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ.

Edificio di riferimento o Target per un edificio sottoposto a verifica progettuale, diagnosi, o altra valutazione energetica: edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati.

Elemento edilizio: sistema tecnico per l'edilizia o componente dell'involucro di un edificio.

Energia consegnata o fornita: energia espressa per vettore energetico finale, fornita al confine dell'edificio agli impianti tecnici per produrre energia termica o elettrica per i servizi energetici dell'edificio.

Energia da fonti rinnovabili: energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.

Energia esportata: quantità di energia, relativa a un dato vettore energetico, generata all'interno del confine del sistema e ceduta per l'utilizzo all'esterno dello stesso confine.

Energia primaria: energia, da fonti rinnovabili e non, che non ha subito alcun processo di conversione o trasformazione.

Energia prodotta in situ: energia prodotta o captata o prelevata all'interno del confine del sistema.

Energia da fonti rinnovabili: energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.

Energia aerotermica: energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore.

Energia geotermica: energia immagazzinata sotto forma di calore nella crosta terrestre.

Energia idrotermica: energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore.

Esercizio: attività che dispone e coordina, nel rispetto delle prescrizioni relative alla sicurezza, al contenimento dei consumi energetici e alla salvaguardia dell'ambiente, le attività relative all'impianto termico, come la conduzione, la manutenzione e il controllo, e altre operazioni per specifici componenti d'impianto.

Fabbisogno annuale globale di energia primaria: quantità di energia primaria relativa a tutti i servizi considerati nella determinazione della prestazione energetica, erogata dai sistemi tecnici presenti all'interno del confine del sistema, calcolata su un intervallo temporale di un anno.

Fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale: la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto.

Fabbricato: sistema costituito dalle strutture edilizie esterne, costituenti l'involucro dell'edificio, che delimitano un volume definito e dalle strutture interne di ripartizione dello stesso volume. Sono esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno.

Fattore di conversione in energia primaria: rapporto adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un'unità di energia fornita, per un dato vettore energetico. tiene conto dell'energia necessaria per l'estrazione, il processamento, lo stoccaggio, il trasporto e, nel caso dell'energia elettrica, del rendimento medio del sistema di generazione e delle perdite medie di trasmissione del sistema elettrico nazionale e nel caso del teleriscaldamento, delle perdite medie di distribuzione della rete. Questo fattore può riferirsi all'energia primaria non rinnovabile, all'energia primaria rinnovabile o all'energia primaria totale come somma delle precedenti.

Fluido termovettore: fluido mediante il quale l'energia termica viene trasportata all'interno dell'edificio, fornita al confine energetico dell'edificio oppure esportata all'esterno.

Gradi giorno di una località: parametro convenzionale rappresentativo delle condizioni climatiche locali, utilizzato per stimare al meglio il fabbisogno energetico necessario per mantenere gli ambienti ad una temperatura prefissata. L'unità di misura utilizzata è il grado giorno, GG.

Generatore di calore o caldaia: è il complesso bruciatore-caldaia che permette di trasferire al fluido termovettore il calore prodotto dalla combustione.

Illuminazione: fornitura di luce artificiale quando l'illuminazione naturale risulti insufficiente per gli ambienti interni e per gli spazi esterni di pertinenza dell'edificio.

Involucro di un edificio: elementi e componenti integrati di un edificio che ne separano gli ambienti interni dall'ambiente esterno.

Impianto termico: impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale o estiva degli ambienti, con o senza produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato, comprendente eventuali sistemi di produzione, distribuzione e utilizzazione del calore nonché gli organi di regolarizzazione e controllo. Sono compresi negli impianti termici gli impianti individuali di riscaldamento. Non sono considerati impianti termici apparecchi quali: stufe, caminetti, apparecchi di riscaldamento localizzato ad energia radiante. Tali apparecchi, se fissi, sono tuttavia assimilati agli impianti termici quando la somma delle potenze nominali del focolare degli apparecchi al servizio della singola unità immobiliare è maggiore o uguale a 5 kW.

Non sono considerati impianti termici i sistemi dedicati esclusivamente alla produzione di acqua calda sanitaria al servizio di singole unità immobiliari ad uso residenziale ed assimilate.

Impianto termico di nuova installazione: impianto termico installato in un edificio di nuova costruzione o in un edificio o porzione di edificio precedentemente privo di impianto termico.

Indice di prestazione energetica EP parziale: fabbisogno di energia primaria parziale riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (a titolo d'esempio: alla sola climatizzazione invernale e/o alla climatizzazione estiva e/o produzione di acqua calda per usi sanitari e/o illuminazione artificiale) riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m²anno o kWh/m³anno.

Indice di prestazione energetica EP: fabbisogno di energia primaria globale riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo riscaldato, espresso rispettivamente in kWh/m²anno o kWh/m³anno.

Ispezioni sugli impianti termici: interventi di controllo tecnico e documentale in sito, svolti da esperti qualificati incaricati dalle autorità pubbliche competenti, mirato a verificare che gli impianti rispettino le prescrizioni del presente decreto.

Livello ottimale in funzione dei costi: livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato, dove:

- 1) il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e di funzionamento e, se del caso, degli eventuali costi di smaltimento.
- 2) il ciclo di vita economico stimato si riferisce al ciclo di vita economico stimato rimanente di un edificio nel caso in cui siano stabiliti requisiti di prestazione energetica per l'edificio nel suo complesso oppure al ciclo di vita economico stimato di un elemento edilizio nel caso in cui siano stabiliti requisiti di prestazione energetica per gli elementi edilizi.
- 3) il livello ottimale in funzione dei costi si situa all'interno della scala di livelli di prestazione in cui l'analisi costi-benefici calcolata sul ciclo di vita economico è positiva.

Locale tecnico: ambiente utilizzato per l'allocatione di caldaie e macchine frigorifere a servizio di impianti di climatizzazione estivi e invernali con i relativi complementi impiantistici elettrici e idraulici, accessibile solo al responsabile dell'impianto o al soggetto delegato.

Macchina frigorifera: nell'ambito del sottosistema di generazione di un impianto termico, qualsiasi tipo di dispositivo (o insieme di dispositivi) che permette di sottrarre calore al fluido termovettore o direttamente all'aria dell'ambiente interno climatizzato anche mediante utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Manutenzione: insieme degli interventi necessari, svolte da tecnici abilitati operanti sul mercato, per garantire nel tempo la sicurezza e la funzionalità e conservare le prestazioni dell'impianto entro i limiti prescritti.

Manutenzione ordinaria dell'impianto termico: insieme delle operazioni previste nei libretti d'uso e manutenzione degli apparecchi e componenti che possono essere effettuate in luogo con strumenti ed attrezzature di corredo agli apparecchi e componenti stessi e che comportino l'impiego di attrezzature e di materiali di consumo d'uso corrente.

Manutenzione straordinaria dell'impianto termico: insieme degli interventi atti a ricondurre il funzionamento dell'impianto a quello previsto dal progetto e/o dalla normativa vigente mediante il ricorso, in tutto o in parte, a mezzi, attrezzature, strumentazioni, riparazioni, ricambi di parti, ripristini, revisione o sostituzione di apparecchi o componenti dell'impianto termico.

Massa superficiale è la massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci, l'unità di misura utilizzata è il kg/m^2 .

Norma tecnica europea: norma adottata dal Comitato europeo di normazione, dal Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica o dall'Istituto europeo per le norme di telecomunicazione e resa disponibile per uso pubblico.

Occupante: chiunque, pur non essendone proprietario, ha la disponibilità, a qualsiasi titolo, di un edificio e dei relativi impianti tecnologici.

Parete fittizia: la parete schematizzata in figura.



Ponte termico: discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro).

Ponte termico corretto: ponte termico in cui la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Potenza termica convenzionale di un generatore di calore: potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino in regime di funzionamento continuo. L'unità di misura utilizzata è il kW.

Potenza termica del focolare di un generatore di calore: prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato. L'unità di misura utilizzata è il kW.

Potenza termica utile nominale: potenza termica utile a pieno carico dichiarata dal fabbricante che il generatore di calore può fornire in condizioni nominali di riferimento.

Potenza termica utile di un generatore di calore: è la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo al fluido termovettore. L'unità di misura utilizzata è il kW.

Pompa di calore: è un dispositivo o un impianto che sottrae calore dall'ambiente esterno o da una sorgente di calore a bassa temperatura e lo trasferisce all'ambiente a temperatura controllata.

Prestazione energetica di un edificio: quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare, con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio, la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili. Tale quantità viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto del livello di isolamento dell'edificio e delle caratteristiche tecniche e di installazione degli impianti tecnici. La prestazione energetica può essere espressa in energia primaria non rinnovabile, rinnovabile, o totale come somma delle precedenti.

Proprietario dell'impianto termico: il soggetto che, in tutto o in parte, è proprietario dell'impianto termico. nel caso di edifici dotati di impianti termici centralizzati amministrati in condominio e nel caso di soggetti diversi dalle persone fisiche gli obblighi e le responsabilità posti a carico del proprietario dal presente regolamento sono da intendersi riferiti agli amministratori.

Produzione di acqua calda sanitaria: fornitura, per usi igienico-sanitari, di acqua calda a temperatura prefissata ai terminali di erogazione degli edifici.

Rendimento di combustione o rendimento termico convenzionale di un generatore di calore: rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare.

Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico: rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio. Ai fini della conversione dell'energia elettrica in energia primaria si considera il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e i suoi successivi aggiornamenti.

Rendimento di produzione medio stagionale: rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nella rete di distribuzione e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio. Ai fini della conversione dell'energia elettrica in energia primaria si considera il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e i suoi successivi aggiornamenti.

Rendimento termico utile di un generatore di calore: rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare.

Responsabile dell'impianto termico: l'occupante, a qualsiasi titolo, in caso di singole unità immobiliari residenziali. Il proprietario, in caso di singole unità immobiliari residenziali non locate. L'amministratore, in caso di edifici dotati di impianti termici centralizzati amministrati in condominio. Il proprietario o l'amministratore delegato in caso di edifici di proprietà di soggetti diversi dalle persone fisiche.

Riqualificazione energetica di un edificio: un edificio esistente è sottoposto a riqualificazione energetica quando i lavori in qualunque modo denominati, a titolo indicativo e non esaustivo: manutenzione ordinaria o straordinaria, ristrutturazione e risanamento conservativo, ricadono in tipologie diverse da quelle indicate in precedenza.

Ristrutturazione di un impianto termico: insieme di opere che comportano la modifica sostanziale sia dei sistemi di produzione che di distribuzione ed emissione del calore. Rientrano in questa categoria anche la trasformazione di un impianto termico centralizzato in impianti termici individuali nonché la risistemazione impiantistica nelle singole unità immobiliari, o parti di edificio, in caso di installazione di un impianto termico individuale previo distacco dall'impianto termico centralizzato.

Ristrutturazione importante di un edificio: un edificio esistente è sottoposto a ristrutturazione importante quando i lavori in qualunque modo denominati (a titolo indicativo e non esaustivo: manutenzione ordinaria o straordinaria, ristrutturazione e risanamento conservativo) insistono su oltre il 25 per cento della superficie dell'involucro dell'intero edificio, comprensivo di tutte le unità immobiliari che lo costituiscono, e consistono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, nel rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture.

Schermature solari esterne: sistemi che, applicati all'esterno di una superficie vetrata trasparente permettono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari.

SCOP: coefficiente di prestazione medio stagionale delle pompe di calore determinato in condizioni di riferimento secondo la EN 14825 per la climatizzazione invernale.

SEER: coefficiente di prestazione medio stagionale delle macchine frigorifere determinato in condizioni di riferimento secondo la EN 14825 per la climatizzazione estiva.

Servizi energetici degli edifici: servizi finalizzati alla climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, alla produzione di acqua calda sanitaria ed all'illuminazione di un edificio.

Sistema di climatizzazione estiva o Impianto di condizionamento d'aria: complesso di tutti i componenti necessari a un sistema di trattamento dell'aria, attraverso il quale la temperatura è controllata o può essere abbassata.

Sistema tecnico, per l'edilizia: impianto tecnologico dedicato a un servizio energetico o a una combinazione dei servizi energetici o ad assolvere a una o più funzioni connesse con i servizi energetici dell'edificio. Un sistema tecnico è suddiviso in più sottosistemi.

Sostituzione di un generatore di calore: rimozione di un vecchio generatore e l'installazione di un altro nuovo, di potenza termica non superiore di più del 10% della potenza del generatore sostituito, destinato a erogare energia termica alle medesime utenze.

Sottosistema di generazione: apparecchio o insieme di più apparecchi o dispositivi che permette di trasferire, al fluido termovettore o direttamente all'aria dell'ambiente interno climatizzato o all'acqua sanitaria, il calore derivante da una o più delle seguenti modalità:

- a) prodotto dalla combustione.
- b) ricavato dalla conversione di qualsiasi altra forma di energia (elettrica, meccanica, chimica, derivata da fenomeni naturali quali ad esempio l'energia solare, etc.).
- c) contenuto in una sorgente a bassa temperatura e riqulificato a più alta temperatura.
- d) contenuto in una sorgente ad alta temperatura e trasferito al fluido termovettore.

Superficie utile: superficie netta calpestabile dei volumi interessati dalla climatizzazione ove l'altezza sia non minore di 1,50 m e delle proiezioni sul piano orizzontale delle rampe relative ad ogni piano nel caso di scale interne comprese nell'unità immobiliare, tale superficie è utilizzata per la determinazione degli specifici indici di prestazione energetica.

Temperatura dell'aria in un ambiente: la temperatura dell'aria misurata secondo le modalità prescritte dalla norma tecnica UNI 8364-1.

Terzo responsabile dell'impianto termico: la persona giuridica che, essendo in possesso dei requisiti previsti dalle normative vigenti e comunque di capacità tecnica, economica e organizzativa adeguata al numero, alla potenza e alla complessità degli impianti gestiti, è delegata dal responsabile ad assumere la responsabilità dell'esercizio, della conduzione, del controllo, della manutenzione e dell'adozione delle misure necessarie al contenimento dei consumi energetici.

Trasmittanza termica: flusso di calore che passa attraverso una parete per m^2 di superficie della parete e per grado K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo.

Teleriscaldamento o teleraffrescamento: distribuzione di energia termica in forma di vapore, acqua calda o liquidi refrigerati da una o più fonti di produzione verso una pluralità di edifici o siti tramite una rete, per il riscaldamento o il raffrescamento di spazi, per processi di lavorazione e per la fornitura di acqua calda sanitaria.

Unità immobiliare: parte, piano o appartamento di un edificio progettati o modificati per essere usati separatamente.

Unità di micro-cogenerazione: unità di cogenerazione con potenza elettrica nominale inferiore a 50 kW rispondente ai requisiti di cui al decreto 4 agosto 2011.

Unità cogenerativa: unità comprendente tutti i dispositivi per realizzare la produzione simultanea di energia termica ed elettrica, rispondente ai requisiti di cui al decreto 4 agosto 2011.

Valori nominali delle potenze e dei rendimenti: sono i valori di potenza massima e di rendimento di un apparecchio specificati e garantiti dal costruttore per il regime di funzionamento continuo.

Vettore energetico: sostanza o energia fornite dall'esterno del confine del sistema per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici dell'edificio.

APPENDICE

Scheda dati relativa alla conoscenza del contesto (vedi § 2.2.2)



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo

**LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA
ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE**
Architettura, centri e nuclei storici ed urbani

SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

Denominazione del sito/ edificio	
Indirizzo del sito	

Soggetto o Ente proprietario	Nominativo			
	Qualifica			
	Indirizzo			
	Telefono		Cell.	
	e-mail			
Referente	Nominativo			
	Qualifica			
	Indirizzo			
	Telefono		Cell.	
	e-mail			

Parametri climatici

Zona climatica	A	B	C	D	E	F
Gradi Giorno (GC)						

Contesto urbano e posizione

centro urbano	centro storico	area industriale	area agricola
periferia urbana			
edificio isolato	connesso con altro edifici sulati		altro

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Planimetrie di ogni piano dell'edificio con indicazione delle destinazioni d'uso dei singoli locali	n° elaborati grafici	
Planimetrie delle coperture	n° elaborati grafici	
Prospetti e sezioni dell'edificio	n° elaborati grafici	
Bollette relative alle forniture di energia elettrica per i degli ultimi 12 mesi antecedenti	n° elaborati	
Bollette relative alle forniture di gas metano o altri combustibili degli ultimi 12 mesi	n° elaborati	

Scheda Anagrafica – I

SEZIONE I - Anagrafica, contesto urbano e dati climatici

SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

Denominazione del
sito/ edificio

--

Parametri di efficienza energetica ed ecologica

Classe di certificazione energetica dell'edificio (ove nota)		
Volume netto riscaldato	mc	
Superficie calpestabile riscaldata	mq	
Volume netto con climatizzazione estiva	mc	
Superficie calpestabile con climatizzazione estiva	mq	
Consumo di acqua potabile	mc	
Consumo di acqua industriale o per innaffiamento (ove applicabile)	mc	

Consumi di energia primaria

Consumo annuo di energia elettrica	kWh		
Costi annui di approvvigionamento di energia elettrica (comprese imposte ed IVA)	€		
Consumo annuo di combustibili (gas metano o GPL, gasolio od altro)	Metano	mc	
	GPL	litri	
	Gasolio	litri	
	Altro		
Costi annui di approvvigionamento combustibili (comprese imposte ed IVA)	Metano	€	
	GPL	€	
	Gasolio	€	
	Altro	€	

SEZIONE II - SCHEDA EDIFICIO - Parametri di efficienza energetica e consumo

Scheda Edificio - II



SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

Denominazione del
sito/ edificio

Destinazione d'uso

Destinazione d'uso principale
(indicare la destinazione d'uso prevalente)

Destinazioni d'uso secondarie
(elencare le eventuali destinazioni d'uso secondarie)

Regimi autorizzativi

Edificio soggetto ad autorizzazioni ai sensi del
d.lgs. 42/2004

SI

NO

Edificio soggetto a rilascio di Certificato di prevenzione incendi
(barrare la cella pertinente e riportare i codici delle attività di cui al
D.P.R.151/2011)

SI

NO

Per le attività di cui al
D.P.R.151/2011:

Altri vincoli autorizzativi
(elencare brevemente)

Caratteristiche geometriche

Volumetria lorda totale
(volume totale coperto al lordo delle strutture murarie)

mc

Superficie coperta calpestabile totale

mq

Superficie di copertura a terrazzo disponibile

mq

Superficie di copertura a falde disponibile

mq

Volumetria attualmente impegnata per locali tecnici impiantistici

mc

Volumetria disponibile per locali tecnici impiantistici

mc

SEZIONE III - SCHEDA EDIFICIO - Destinazione d'uso, regimi autorizzativi e caratteristiche geometriche



SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

Denominazione del
sito/ edificio

Involucro edilizio

Caratteristiche delle principali tamponature esterne
(murature isolate o non isolate descrivere brevemente)

**Caratteristiche della maggior parte degli infissi
esterni**
(infissi a vetro semplice, o vetrocamera, materiale dei
telai, presenza del taglio termico, etc., descrivere
brevemente)

Caratteristiche delle coperture
(a falda o a terrazza, descrivere brevemente)

Orario di esercizio (eventuale)

Orario di esercizio giornaliero attività d'ufficio

Feriale

Festivo/
prefestivo

Numero di giorni annui di apertura per attività di
ufficio

Feriali

Festivi/
prefestivi

Numero medio di presenze giornaliera di personale
per le attività d'ufficio

Feriale

n°

Festivo/
prefestivo

n°

Orario giornaliero di apertura al pubblico

Feriale

Festivo/
prefestivo

Numero di giorni annui di apertura al pubblico

Feriali

Festivi/
prefestivi

Numero medio di presenze giornaliera di pubblico

Feriale

n°

Festivo/
prefestivo

n°

SEZIONE IV - SCHEDA EDIFICIO - Caratteristiche tecnologiche edificio

SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

**Denominazione del
sito/ edificio**

--

Impiantistica termica e di climatizzazione

Tipologia impiantistica di riscaldamento (centralizzata o autonoma, a radiatori, ventilconvettori, o di tipo split, a tutt'aria centralizzata descrivere brevemente)	
Tipologia impiantistica di climatizzazione (centralizzata o autonoma, a ventilconvettori o di tipo split, o a tutt'aria centralizzata, descrivere brevemente)	
Modalità di produzione acqua calda sanitaria (centralizzata o locale, da fonte rinnovabile, descrivere brevemente)	
Tipologia generatori di acqua calda (caldaie tradizionali o a condensazione, pompe di calore, impianti solari termici, descrivere brevemente)	
Fonti di alimentazione dei generatori di acqua calda (energia elettrica, gas, gasolio, gpl od altro, descrivere brevemente)	
Tipologia generatori per climatizzazione estiva (gruppi frigoriferi condensati ad aria od acqua, sistemi ad espansione diretta centralizzati o di tipo split, altro, descrivere brevemente)	
Fonti di alimentazione dei generatori per la climatizzazione estiva (energia elettrica, gas, gasolio, gpl od altro, descrivere brevemente)	

SEZIONE V- SCHEDA EDIFICIO - Caratteristiche tecnologiche impianti termici

SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

**Denominazione del
sito/ edificio**

--

Impiantistica elettrica e di illuminazione

Tipo di fornitura energia elettrica (barrare la cella pertinente)		Bassa tensione	Media tensione
Impegno di potenza di picco per la fornitura di energia elettrica (come da bolletta/contratto di fornitura)	kW		
Presenza di sistemi di produzione di energia elettrica (impianti fotovoltaici, sistemi di cogenerazione, etc.)		SI	NO
Potenza di picco resa dagli impianti di produzione di energia elettrica e breve descrizione degli impianti ove presenti	kW		
	Descrizione		
Tipologia prevalente dei corpi illuminanti nelle aree interne (apparecchi fluorescenti, a led, a incandescenza o alogeni, breve descrizione)			
Tipologia prevalente dei corpi illuminanti nelle aree esterne (apparecchi fluorescenti, a led, a incandescenza o alogeni, breve descrizione)			
Presenza di sistemi di attivazione e spegnimento automatico dell'impianto di illuminazione con rilevazione delle presenze (indicare l'eventuale presenza o assenza e descrivere brevemente)			
Eventuali utenze elettriche di elevata potenza (sistemi di pompaggio, macchinari specifici, descrivere brevemente)			

SEZIONE VI - SCHEDA EDIFICIO - Caratteristiche tecnologiche impianti elettrici

Scheda Edificio - VI

SCHEDA DATI RELATIVA ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO

**Denominazione del
sito/ edificio**

--

Contratti fornitura e gestione energetica

Contratti in corso per forniture di energia
(descrivere brevemente con particolare riferimento ad eventuali contratti con ESCO e figure di terzo responsabile)

--

Contratti in corso per la gestione e manutenzione dell'impiantistica
(descrivere brevemente con particolare riferimento ad eventuali contratti con ESCO e figure di terzo responsabile)

--

Interventi di ristrutturazione programmati o in corso di realizzazione

Eventuali iniziative in corso per la ristrutturazione dell'involucro edilizio
(interventi su componenti murarie, sostituzione di infissi etc. descrivere brevemente)

--

Eventuali iniziative in corso per la ristrutturazione dell'impiantistica
(interventi su impiantistica meccanica ed elettrica, descrivere brevemente)

--

Eventuali iniziative in corso per lo sfruttamento di fonti rinnovabili
(impianti solari termici, fotovoltaici, eolici etc. descrivere brevemente)

--

SEZIONE VII - SCHEDA EDIFICIO - Iniziative e contratti in corso

Gruppo di lavoro incaricato della redazione delle Linee di indirizzo

(decreto del Direttore generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea
Rep. 701 del 20 agosto 2013)

Dott.ssa Maddalena Ragni – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Direttore generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea
(**coordinamento**)

Ing. Attilio Maurano – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Direttore regionale per i beni culturali e paesaggistici della Basilicata

Arch. Francesco Scoppola - Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo -
Direttore regionale per i beni culturali e paesaggistici dell'Umbria

Arch. Ugo Soragni - Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Direttore regionale per i beni culturali e paesaggistici del Veneto

Dott. Massimo Baraldi – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Ufficio legislativo - Dirigente

Arch. Stefano D'Amico – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo -
Direzione generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea -
Dirigente Servizio II – *Tutela del patrimonio architettonico*

Dott.ssa Marica Mercalli - Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo -
Direzione generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea -
Dirigente Servizio III – *Tutela del patrimonio storico-artistico ed etnoantropologico*

Arch. Roberto Banchini - Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo -
Direzione generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea -
Dirigente Servizio IV – *Tutela e qualità del paesaggio*

Arch. Maria Grazia Bellisario - Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo -
Direzione generale per il paesaggio, le belle arti, l'architettura e l'arte contemporanea -
Dirigente Servizio V – *Architettura e arte contemporanea*

Ing. Caterina Rubino – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Segretariato generale - Funzionario ingegnere

Prof. Arch. Alessandra Battisti – Professore di progettazione ambientale e tecnologia
dell'architettura presso l'Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Prof. Arch. Giovanni Carbonara - Professore di restauro dei monumenti presso l'Università degli
Studi di Roma “La Sapienza”; Direttore della Scuola di specializzazione in beni architettonici e del
paesaggio dell'Università degli Studi di Roma “La Sapienza”;

Prof. Ing. Livio De Santoli – Professore di fisica tecnica ambientale presso l’Università degli Studi di Roma “La Sapienza”; Professore di impianti tecnici presso la Scuola di specializzazione in beni architettonici e del paesaggio dell’Università degli Studi di Roma “La Sapienza”.

Da agosto a dicembre 2014, ha poi coordinato il gruppo di lavoro, in qualità di nuovo Direttore generale per il paesaggio, le belle arti, l’architettura e l’arte contemporanea il **Dott. Gregorio Angelini**.

Ha inoltre collaborato alla redazione dei testi **l’Arch. Irina Baldescu** – Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo – Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici del Veneto – Funzionario architetto.