

**Master in Economia e Progettazione Europea dello  
Sviluppo Territoriale Sostenibile**

**Bioarchitettura e restauro ecosostenibile -  
note introduttive**

Prof. Arch. Rodolfo M. Strollo  
Ing. Ilaria Palazzi



## Sommario

<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>PARTE PRIMA</b>	<b>4</b>
<b>1. Il concetto di Bioarchitettura</b>	<b>5</b>
1.1 Il progetto di bioarchitettura	6
1.1.1 Selezione del sito	6
1.1.2 Orientamento, disposizione degli ambienti e forma dell'edificio	6
1.1.3 Materiali	6
1.1.4 Qualità ambientale interna ed efficienza energetica	7
1.1.5 Inquinamento elettromagnetico	8
1.1.6 Progettazione degli spazi esterni	9
1.1.7 Recupero delle acque meteoriche	10
<b>2. Materiali</b>	<b>11</b>
2.1 LCA o Valutazione del ciclo di vita	11
2.2 Materiali da costruzione	12
2.2.1 Laterizi	12
2.2.2 Blocchi in calcestruzzo porizzato e in argilla espansa	11
2.2.3 Pietre naturali	13
2.2.4 Terra cruda	14
2.3 Materiali isolanti	15
2.3.1 Fibra di legno	15
2.3.2 Sughero	15
2.3.3 Fibra di cellulosa	16
2.4 Materiali di finitura	17
2.4.1 Intonaci naturali	17
2.4.2 Vernici e pitture naturali	17
2.5 Certificazione dei materiali ecosostenibili	18
2.5.1 Ecolabel	18
2.5.2 EPD o Dichiarazione Ambientale di Prodotto	19
2.5.3 Certificazione ambientale del legno	19
<b>3. Tecnologie costruttive per la bioedilizia</b>	<b>21</b>
3.1 Edificio "leggero" ed edificio "pesante"	21
3.2 Sistemi resistenti in legno	21
3.3 Coperture e facciate verdi	23
<b>4. Protocolli di certificazione ambientale</b>	<b>24</b>
4.1 Protocollo ITACA	25
4.2 Protocollo CasaClima	26
4.3 Protocollo LEED	27
4.3.1 Protocollo LEED Italia NC	28
4.4 Protocollo BREEAM	28

<b>PARTE SECONDA</b>	<b>29</b>
<b>1. Il recupero ecosostenibile</b>	<b>29</b>
1.1 Interventi sull'edificio esistente	30
<b>Note</b>	<b>34</b>
<b>Bibliografia essenziale</b>	<b>36</b>
<b>Sitografia</b>	<b>36</b>



## Premessa

L'osservatore anche meno attento, nel percorrere le strade di uno qualsiasi degli insediamenti storici di cui il nostro Paese è ricco, non può non avvertire la presenza di un principio regolatore ed apprezzare l'armonia delle parti, la relazione tra gli spazi urbani principali – la piazza, il mercato, la chiesa, il municipio... –, l'accostamento sapiente dei materiali e dei colori – che si fondono con quelli del paesaggio circostante –, il susseguirsi di ombre e luci determinato dall'altezza degli edifici, dalla larghezza delle strade, dagli oggetti, dalle alberature, i suoni, gli odori: un insieme di fattori che infondono sensazioni di benessere, di un ritrovato equilibrio tra la dimensione umana e quella naturale.

Purtroppo è raro avvertire i medesimi stimoli quando si percorrono le affollate strade delle metropoli contemporanee, ma anche quelle delle recenti espansioni dei piccoli centri urbani.

Viene spontaneo allora domandarsi perché ad un certo punto della nostra storia si sia smesso di costruire in quel modo, si sia persa la percezione dell'ambiente naturale, si siano infranti principi che da secoli regolavano l'intervento umano sul territorio e perché oggi le nostre città appaiano invase da edifici in gran parte privi di identità architettonica, accostati senza la debita attenzione ad una coerenza tipologica o morfologica, le cui condizioni – nelle facciate e negli interni – rivelano, nonostante la realizzazione ancora recente, una scarsa qualità dei materiali e delle prestazioni energetiche.

La risposta a tali quesiti non deve essere cercata troppo indietro nel tempo: prima l'avvento della seconda rivoluzione industriale intorno al 1870 con il progressivo abbandono delle attività agricole e poi la diffusione generalizzata di materiali da costruzione artificiali spesso avulsi da specifici contesti ambientali – come l'acciaio, il calcestruzzo armato e il vetro –, insieme all'accresciuta capacità di approvvigionamento delle fonti energetiche – elettricità, acqua potabile, gas –, hanno poi determinato nel corso del '900 la rottura di una condizione pressoché di equilibrio tra uomo e ambiente.

Su tale quadro, già preoccupante alla fine del primo trentennio del secolo scorso, si è abbattuta la forza distruttiva del secondo conflitto mondiale, con la conseguente emergenza abitativa degli anni '50, alla quale si è risposto con l'aumento della produttività del settore edilizio anche a scapito della qualità abitativa, realizzando quartieri spesso privi di identità urbanistica e costruzioni con gravi problemi di manutenzione, testimoniati dal pessimo stato di conservazione e di gestione energetica.

Sono seguiti, sullo sfondo di un accresciuto benessere economico e dell'illusione di un progresso senza costi a lungo termine, anni di speculazione edilizia, di abusivismo incontrastato, in cui la carenza delle politiche urbanistiche ha aggravato la situazione esistente determinando l'espansione incontrollata delle grandi città, il proliferare di piccoli e medi centri abitati, spesso mal collegati e privi di servizi, nonché generalmente caratterizzati da una ridottissima qualità degli edifici sotto il profilo sia architettonico che impiantistico.

La crisi petrolifera del 1973 ha rappresentato un primo campanello d'allarme, generando una brusca contrazione dei mercati e frenando il sogno di una disponibilità illimitata di risorse. D'altra parte essa ha innescato il processo di sviluppo di nuove tecnologie maggiormente efficienti sotto il profilo energetico e alimentate da fonti rinnovabili (solare, fotovoltaico, eolico, geotermico, idroelettrico). Qualche anno più tardi l'attenzione mondiale è stata rivolta anche al problema delle emissioni di gas serra in atmosfera e al conseguente surriscaldamento terrestre, responsabile dei cambiamenti climatici degli ultimi decenni.

La Conferenza Internazionale su Ambiente e Sviluppo di Rio de Janeiro del 1992 e il protocollo di Kyōto del 1997 hanno rappresentato i primi passi verso un'inversione di rotta nel modello di sviluppo dei Paesi industrializzati; tuttavia i segnali più incisivi sono arrivati soltanto negli ultimi anni, soprattutto sotto la spinta delle politiche energetiche e ambientali dell'Unione Europea. Si veda a tale proposito la Direttiva 2009/28/CE – il cosiddetto “pacchetto clima-energia 20-20-20” – elaborato per il periodo successivo al termine del Protocollo di Kyōto, il quale prevede che entro il 2020 le emissioni di gas serra siano ridotte del 20% rispetto ai valori del 1990, i consumi finali lordi di energia dell'Unione Europea siano coperti per il 20% da fonti rinnovabili e sia conseguito il 20% di risparmio energetico rispetto a quanto inizialmente previsto per lo stesso anno 2020<sup>1</sup>.

In che modo il settore delle costruzioni interviene in tale scenario? Oggi in Europa gli edifici sono responsabili di circa il 40% del consumo finale di energia – del quale il 25% è assorbito dalle residenze e il 15

% dal terziario –, una percentuale superiore a quelle dell'industria (28%) e dei trasporti (32%); il comparto edilizio è, inoltre, responsabile di circa il 30% delle emissioni di gas serra in atmosfera<sup>2</sup>.

Altro tema legato al settore delle costruzioni e allo sfruttamento dissennato della risorsa naturale riguarda il consumo di suolo. Attualmente la superficie artificiale europea rappresenta il 4% della superficie totale, ma va sottolineato che dal 2000 al 2006 si sono persi circa 600 mila ettari di terreni agricoli facendo segnare un consistente +3,4% alle aree cementificate europee. Un fenomeno cui hanno contribuito in modo determinante non solo le aree residenziali, ma anche l'incremento delle infrastrutture e di zone destinate a siti commerciali. E mentre crescono cemento e aree urbane, vengono erose le superfici agricole: sempre nel periodo 2000-2006 i terreni a uso dei seminativi e delle colture permanenti si sono ridotti dello 0,2%, mentre quelli destinati al pascolo sono diminuiti dello 0,3%. Altro fenomeno preoccupante è l'abbandono delle aree rurali marginali e remote a favore di una sempre maggiore concentrazione dell'agricoltura nelle aree maggiormente fertili<sup>3</sup>.

Appare dunque evidente che per centrare gli obiettivi di utilizzo razionale del territorio, riduzione del fabbisogno energetico e delle emissioni nocive in atmosfera, occorre intervenire attraverso politiche territoriali ed urbanistiche mirate, tecnologie ad elevata efficienza energetica, materiali a basso impatto ambientale, fonti rinnovabili, nel tentativo di ricostituire quell'equilibrio interrotto e di orientare lo sviluppo futuro verso criteri di sostenibilità ambientale, economica e sociale; una svolta che deve riguardare non soltanto l'ambito delle nuove costruzioni, ma soprattutto quello del recupero del patrimonio edilizio esistente – che rappresenta la vera sfida dei prossimi anni.

Sono questi i temi del costruire ecosostenibile, della bioedilizia, o – per utilizzare un termine anglosassone – del *green building*. Nei seguenti paragrafi saranno trattati alcuni degli aspetti principali legati a tali temi, in maniera tutt'altro che esaustiva, al solo scopo di fornire un quadro generale da utilizzare come punto di partenza per successivi approfondimenti riguardanti un settore che è in continua evoluzione e sul quale si stanno concentrando gli sforzi della politica, delle imprese e dei consumatori più consapevoli.

La prima parte della dispensa è dedicata ai principi della bioedilizia, dai criteri generali, ai materiali, alle tecnologie costruttive e ai sistemi di certificazione; la seconda parte rappresenta, invece, un breve focus sul tema del recupero ecosostenibile del patrimonio immobiliare esistente, a scala urbana ed edilizia.

## PARTE PRIMA

### 1. Il concetto di Bioarchitettura

Il termine “Bio-architettura” viene introdotto in Italia nel 1987 da Ugo Sasso, architetto fondatore dell’INBAR (Istituto Nazionale di Bioarchitettura), come traduzione del vocabolo tedesco *Baubiologie*, ovvero “biologia edile” (“*Bau* = edilizia o edificio”, “*Biologie* = biologia”), coniato in Germania negli anni ‘60, per individuare un movimento teso alla difesa dell’uomo dalle “malattie del progresso” e dall’insalubrità degli edifici. La biologia edile tedesca indica nell’alienazione dell’uomo dalla natura la principale causa dei mali sociali e della perdita dell’integrità fisica, psichica e spirituale degli individui. Attraverso l’utilizzo di materiali naturali come l’argilla, il legno, le fibre vegetali, i colori estratti da piante o da terre, l’uomo può ripristinare un ambiente accogliente, sano, costruito secondo criteri antropofisici.

In Italia, il termine assume un significato che lo stesso Sasso specifica con le seguenti parole:

*“Si definisce Bioarchitettura l’insieme delle discipline che attuano e presuppongono un atteggiamento ecologicamente corretto nei confronti dell’ecosistema ambientale. In una visione caratterizzata dalla più ampia interdisciplinarietà e da un utilizzo razionale e ottimale delle risorse, la Bioarchitettura tende alla conciliazione ed integrazione delle attività e dei comportamenti umani con le preesistenze ambientali ed i fenomeni naturali. Ciò al fine di realizzare un miglioramento della qualità della vita attuale e futura. La novità programmatica della Bioarchitettura non risiede nella specificità delle singole discipline, quanto nelle connessioni capaci di determinare una visione olistica del territorio e della qualità architettonica”<sup>4</sup>.*

La bioarchitettura persegue, dunque, l’obiettivo di porre in relazione l’uomo e lo spazio in cui vive – l’architettura – con l’ambiente esterno, attraverso il corretto inserimento dei manufatti, la gestione razionale delle risorse naturali ed energetiche, lo sfruttamento delle fonti rinnovabili, per garantire tanto il benessere umano, quanto la salvaguardia dell’ecosistema.

L’aspetto principale che emerge dalle parole di Sasso è la multidisciplinarietà di questa “dottrina”. Spesso si ritiene, erroneamente, che la bioarchitettura si riduca ad una corretta progettazione tecnica dell’involucro edilizio e degli impianti, per ottenere il massimo risparmio energetico. Ciò è sicuramente vero, ma è soltanto uno degli aspetti da tenere in considerazione. Un progetto che segua i principi della bioarchitettura, infatti, sia esso alla scala edilizia o a quella urbana, coinvolge una moltitudine di discipline: sociali, connesse alla qualità del vivere umano; politiche, rivolte al governo del territorio; economiche, tese a raggiungere il giusto rapporto costi/benefici di un intervento, a breve e lungo termine; ambientali; biologiche; fisiche; chimiche; ecc.

Altrettanto sbagliato sarebbe considerare i temi della bioarchitettura e dell’ecosostenibilità come frutti dell’innovazione moderna o della consapevolezza di una crisi energetica ed ambientale che da quasi quaranta anni investe i paesi industrializzati. Se di queste tematiche costituiscono una naturale conseguenza, sviluppatasi allorché l’essere umano sembra essersi reso conto della necessità di cambiare il proprio modello di sviluppo per salvaguardare il benessere delle generazioni future, va tenuto presente come quelle che oggi appaiono soluzioni tecniche rivoluzionarie dal punto di vista ecologico, costituiscano spesso una riproposizione dei modi di costruire dell’architettura storico-popolare. Prima dell’industrializzazione, infatti, proprio la carenza di risorse energetiche e la limitazione tecnologica, spingevano l’uomo a costruire edifici con materie prime naturali e nel rispetto delle condizioni climatiche.



Fig. 1 - Fig. 2: Esempi di architettura bioclimatica tradizionale: i trulli pugliesi e una baita trentina

Oggi si assiste ad un ritorno ai principi dell'architettura tradizionale, rivisitati e integrati alla luce delle tecniche e delle tecnologie produttive contemporanee, per incrementarne l'efficienza sotto il profilo costruttivo (standardizzazione del processo, rapidità di messa in opera, rispetto delle attuali prescrizioni in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro, ecc.) e ambientale.

## 1.1 Il progetto di bioarchitettura

### 1.1.1 Selezione del sito

Il progetto di bioarchitettura, per il senso stesso del termine, non può non tener conto dell'ambiente circostante all'edificio da realizzare. L'analisi del sito di costruzione costituisce la fase preliminare e probabilmente più importante del processo, durante la quale si devono prendere in considerazione fattori non visibili, ma comunque influenti sulla salubrità del luogo – come la presenza di gas radon, di campi elettromagnetici generati da elettrodotti ad alto voltaggio o da ripetitori di stazioni televisive e ponti radio, di corsi d'acqua sotterranei e di discariche non segnalate – e fattori evidenti, tra i quali la presenza di venti troppo forti, lo scarso soleggiamento, la vicinanza di arterie stradali molto trafficate e di zone industriali in grado di emettere gas tossici in atmosfera.

Si deve evitare la costruzione di nuovi manufatti in zone sottoposte a vincoli naturalistici, in prossimità di corpi idrici superficiali, in aree agricole, privilegiando siti già precedentemente antropizzati. In tal modo si evita il consumo irrazionale di suolo – che purtroppo ha caratterizzato negli ultimi sessanta anni lo sviluppo edilizio in Italia come in altri Paesi industrializzati – e la necessità di aumentare trasporti e infrastrutture, riducendo ulteriormente l'impatto ambientale del progetto.

Anche quando tali criteri vengono soddisfatti e si opera in un tessuto urbano consolidato, l'analisi delle preesistenze è fondamentale: il nuovo intervento dovrebbe inserirsi armoniosamente nell'ambiente urbano circostante, rispettandone le caratteristiche morfologiche, tipologiche e architettoniche.

### 1.1.2 Orientamento, disposizione degli ambienti e forma dell'edificio

Scendendo alla scala dell'organismo edilizio, il primo aspetto da tenere in considerazione è l'orientamento dell'edificio secondo l'asse del sole, per ottimizzare gli apporti termici e luminosi. Per il clima temperato italiano la scelta più corretta è quella di disporre l'asse dell'edificio in direzione est-ovest, ovvero con le facciate principali a sud e a nord, avendo cura di schermare le aperture a sud per consentire alla radiazione solare di penetrare in inverno e di essere ostacolata in estate. Anche la disposizione degli ambienti interni dovrebbe seguire criteri dettati dallo studio dell'illuminazione naturale: gli ambienti di servizio (corridoi, ripostigli, ecc.) dovrebbero essere collocati a nord – la zona più fredda – e le stanze in cui si svolge la maggior parte della vita quotidiana a sud-est e sud-ovest, se utilizzate rispettivamente al mattino o nel pomeriggio.

Contestualmente all'analisi dell'orientamento, occorre effettuare uno studio delle altezze degli edifici e delle alberature circostanti all'area di intervento, per determinare l'incidenza delle ombre nelle varie ore del giorno e nei diversi periodi dell'anno. Le ombre influenzano, infatti, la quantità di radiazione solare effettiva che raggiunge le pareti dell'edificio, indipendentemente dall'esposizione delle stesse e possono risultare favorevoli in estate, ma problematiche in inverno.

Anche la forma dell'edificio incide sulle prestazioni energetico-ambientali: il criterio da perseguire è quello della compattezza, ovvero dell'ottimizzazione del rapporto tra superficie esposta all'esterno e volume interno ( $S/V$ ) per minimizzare la dispersione di calore in inverno e il carico termico in estate; in tal senso dovrebbero essere privilegiate forme parallelepipediche, e l'area delle superfici esposte a nord dovrebbe essere ridotta il più possibile.

### 1.1.3 Materiali

La fase successiva della progettazione riguarda la scelta dei materiali e delle tecniche costruttive, che deve essere guidata da criteri di ecosostenibilità. L'impiego di metodi di costruzione tradizionali, con il supporto delle moderne tecnologie, e di materiali naturali, non risultanti dall'elaborazione di prodotti chimici inquinanti, consente di garantire tanto il benessere umano quanto quello ambientale.

Il mercato dei prodotti edilizi sembra aver compreso la tendenza verso un'architettura sostenibile dal punto di vista ecologico e la gamma di sistemi costruttivi abbinati a materiali naturali – i cosiddetti sistemi della bioedilizia – si è considerevolmente ampliata negli ultimi anni: basti pensare al forte rilancio delle

strutture in legno, che trovano sempre maggior utilizzo non soltanto in Nord Europa, ove tale tecnologia è radicata da secoli, ma anche a climi più temperati. Si tratta di sistemi derivati da quelli tradizionali, dei quali conservano le principali caratteristiche estetiche e funzionali, queste ultime rese più performanti sotto il profilo del risparmio energetico grazie all'integrazione di materiali isolanti, serramenti e finiture prodotti con le moderne tecnologie.

Per valutare il reale impatto di tali componenti sull'ambiente è necessario analizzarli nel loro intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime che li costituiscono al conferimento in discarica o, meglio, al riciclo; tra gli aspetti principali che occorre considerare vi sono:

- il processo produttivo, che deve essere condotto secondo criteri di risparmio energetico, minimizzando l'emissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera;
- la tossicità del materiale durante la fase di esercizio (si pensi al caso della formaldeide impiegata dall'industria del mobile);
- la durata e il grado di riciclabilità;
- la "regionalità": un materiale prodotto a breve distanza dal luogo di messa in opera consente di ridurre l'inquinamento derivate dal trasporto.

Vista la centralità del tema, agli aspetti sopra riportati sono dedicati alcuni specifici paragrafi della presente trattazione, allo scopo di fornire un sintetico quadro delle caratteristiche dei principali materiali bioedili, distinti, in base alla funzione, in materiali da costruzione, isolanti e di finitura.

Una breve nota di carattere tecnico è necessaria per introdurre alcune proprietà dei materiali dalle quali dipendono le prestazioni energetiche dell'edificio, che saranno richiamate nei prossimi paragrafi.

- conducibilità termica ( $\lambda$ ): è la potenza termica che si trasmette attraverso uno spessore unitario del materiale per unità di superficie e per differenza di temperatura unitaria; l'unità di misura della conducibilità termica è il W/mK; in altre parole tale proprietà fornisce una misura della capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dal calore; un valore elevato di  $\lambda$  indica che il materiale è un buon conduttore, viceversa il materiale è un isolante;
- capacità termica: esprime la capacità di accumulo termico di un materiale e dipende dal suo calore specifico e dalla sua massa;
- inerzia termica: è la capacità di un materiale o di una struttura edilizia di variare più o meno lentamente la propria temperatura come risposta a variazioni di temperatura esterna o ad una sorgente di calore/raffreddamento interno; l'inerzia termica è direttamente proporzionale alla capacità termica e inversamente proporzionale alla conducibilità termica;
- coefficiente di resistenza al passaggio del vapore ( $\mu$ ): esprime di quanto la resistenza al passaggio di vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e temperatura, considerando per l'aria un valore  $\mu = 1$ ; minore è il valore  $\mu$  più il materiale è "traspirante".

#### 1.1.4 Qualità ambientale interna ed efficienza energetica

La scelta dei materiali e delle tecniche costruttive incide in maniera determinante sulla prestazioni ambientali di un edificio, ma non è sufficiente a garantire la qualità dell'intervento, che dipende anche dal comfort termo-igrometrico e dalla qualità dell'aria degli spazi interni, nei quali deve essere garantito il benessere psico-fisico degli occupanti.

La temperatura ideale di un ambiente interno è pari a circa 18°-20°C, con un tasso di umidità che si aggira intorno al 60%; fondamentale è il ricambio d'aria<sup>5</sup>, per evitare la concentrazione di anidride carbonica prodotta dalla respirazione, vapore acqueo, gas radon proveniente dal sottosuolo, composti organici volatili, batteri e muffe.

Un aspetto particolare della progettazione degli ambienti interni riguarda l'illuminazione naturale o *daylighting*. Lo sfruttamento della radiazione solare per l'illuminazione degli spazi consente di ridurre i consumi di elettricità dovuti all'utilizzo delle fonti di luce artificiali e contribuisce al benessere psico-fisico degli utenti, tanto più se a questi ultimi è consentita la vista dell'ambiente esterno attraverso le aperture dell'edificio.

Il raggiungimento delle condizioni ottimali dovrebbe essere ottenuto con un'attenta progettazione dell'involucro edilizio, abbinata allo sfruttamento delle risorse naturali: la radiazione solare, attraverso il corretto orientamento dell'edificio e la creazione di logge chiuse a vetro lungo la facciata sud che per-

mettono di incamerare il calore prodotto dal sole; la coibentazione delle stanze rivolte a nord; la corretta progettazione delle aperture, che oltre ad essere adeguate in numero e dimensione per consentire l'illuminazione degli ambienti interni, devono essere posizionate in maniera da favorire all'occorrenza il flusso d'aria, garantendo il ricambio d'aria e la ventilazione in estate (le aperture devono essere almeno due e posizionate in due pareti diverse – preferibilmente parallele – per innescare la corrente d'aria).

Non sempre, tuttavia, la presenza di un involucro ben coibentato e la corretta progettazione delle aperture per consentire la ventilazione naturale degli ambienti sono sufficienti a garantire le condizioni ottimali, pertanto è necessario prevedere sistemi meccanici di distribuzione e regolazione del calore, del raffrescamento e della portata d'aria. La scelta in questo caso deve ricadere su tecniche di climatizzazione degli ambienti fisiologicamente gradevoli, quali, ad esempio, i pannelli radianti, che consentono la distribuzione del calore e del raffrescamento per irraggiamento e in maniera diffusa anziché per convezione puntuale, come avviene con i comuni radiatori o con i *fan coil*.

Un approccio ecosostenibile prevede che tali dispositivi siano alimentati da fonti rinnovabili a basso impatto ambientale tra le quali l'energia solare termica per la produzione di acqua calda sanitaria e di calore, l'energia solare fotovoltaica ed eolica per la produzione di energia elettrica e la geotermia per l'alimentazione di pompe di calore.

### 1.1.5 Inquinamento elettromagnetico

Altro aspetto connesso al comfort degli ambienti interni riguarda l'inquinamento elettromagnetico o elettrosmog. I cavi di distribuzione dell'energia elettrica e gli elettrodomestici presenti in casa (rasoi elettrici, phon, ecc.) generano onde elettromagnetiche a bassa frequenza (ELF – *Extremely Low Frequency*), mentre onde ad alta frequenza sono prodotte da televisori, cellulari, forni a microonde, ecc. L'esposizione prolungata a campi elettromagnetici (CEM), specie durante la notte, può produrre insonnia, emicrania e ridurre la produzione di melatonina, principale antagonista dello stress.

Diversi studi hanno individuato la soglia sotto la quale non si verificano disturbi dovuti ai CEM in 0,2 microtesla ( $\mu\text{T}$ ) per le basse frequenze (il microtesla è l'unità di misura dell'induzione elettromagnetica). Si tenga presente che oltre all'intensità dell'emissione è necessario considerare anche la distanza della sorgente e la durata dell'esposizione. Molti apparecchi emettono campi elettrodomestici con valori ben superiori alla soglia critica, ma il tempo di esposizione risulta breve e dunque il rischio risulta ridotto (si veda la tabella seguente).

<b>Elettrodomestico</b>	<b>a 3 cm</b>	<b>a 30 cm</b>	<b>a 1 m</b>
Rasoio elettrico	1500	9	0.3
Aspirapolvere	800	20	2
Asciugacapelli	750	10	0.3
Formo a microonde	200	8	0.6
Lampada fluorescente	200	3	0.06
Fornello elettrico	80	4	0.2
Lavatrice	50	3	0.15
Televisore	50	2	0.15
Ferro da stiro	30	0.3	0.025
Lavastoviglie	7	1	0.08
Forno	3	0.5	0.4
Frigorifero	1.7	0.25	0.1

Tab. 1: Valori massimi in  $\mu\text{T}$  del campo elettromagnetico emesso da alcuni elettrodomestici in base alla distanza dalla fonte

Le misure per prevenire i rischi da elettrosmog negli edifici comprendono la schermatura dell'impianto elettrico al di sopra dei 50 Hz per minimizzare la diffusione dei campi elettromagnetici, evitare di posizionare il letto contro pareti che siano attraversate da cavi elettrici o dietro le quali vi siano elettrodomestici, arieggiare le stanze durante e dopo il funzionamento degli elettrodomestici per disperdere gli ioni positivi, l'installazione di apparecchiature a marchio CE e l'esclusione di arredi in tessuto sintetico che si caricano elettrostaticamente.

### 1.1.6 Progettazione degli spazi esterni

L'uomo svolge circa il 90% delle sue attività in ambienti chiusi e si è vista l'importanza di garantire in essi il giusto comfort termo-igrometrico e il benessere psico-fisico, attraverso la disposizione degli spazi, la scelta dei materiali, l'eliminazione delle fonti di inquinamento indoor, ecc. D'altra parte la progettazione degli spazi esterni, che rappresentano l'interfaccia tra l'edificio e l'ambiente circostante, riveste la medesima importanza; anche in questo caso gli obiettivi da perseguire riguardano la riduzione dell'impatto che l'intervento edilizio genera sul tessuto esistente e la creazione di un contesto ambientale "locale" che migliori la percezione fisica e sensoriale degli utenti.

Un primo aspetto riguarda la scelta dei materiali: massimizzare le aree verdi, riducendo al minimo la posa di asfalto impermeabilizzante nei percorsi carrabili e pedonali e favorendo pavimentazioni drenanti (ciottoli, pietre, grigliati in calcestruzzo e plastici, masselli autobloccanti porosi, terra stabilizzata) con colorazioni chiare, consente il naturale deflusso delle acque piovane in falda e diminuisce l'effetto "isola di calore"<sup>6</sup>, tipico di quelle superfici.



Fig. 3: Esempi di pavimentazioni drenanti: a) grigliato in calcestruzzo; b) grigliato plastico; c) masselli autobloccanti in granito; d) terra stabilizzata

La selezione delle essenze arboree nelle aree verdi dovrebbe essere effettuata privilegiando le specie "autoctone", naturalmente adattate all'ambiente circostante e dunque meno dispendiose sotto il profilo dell'irrigazione e della manutenzione.

Le alberature possono, inoltre, incidere sul risparmio energetico, poiché agiscono come barriere naturali. Per tale motivo, nei lati esposti a nord è opportuno posizionare alberi o siepi sempreverdi, che ostacolano il flusso dei venti freddi invernali, mentre lungo i versanti sud e ovest la scelta di alberi a foglia caduca consente l'ombreggiamento in estate e il passaggio dei raggi solari in estate.

Aspetto non secondario è la capacità della vegetazione di produrre ossigeno assorbendo anidride carbonica e di trattenere il terreno in caso di forti piogge. In ultimo va considerata la possibilità di recuperare legname da utilizzare come combustibile fossile e di riciclare i residui delle patate per produrre *Biocompost*, da impiegare come concime naturale e combustibile ecologico.

In climi caldi, l'inserimento di laghetti o canali artificiali intorno all'edificio o la creazione di piccole cascate d'acqua lungo le facciate, favorisce la riduzione della temperatura percepita durante la stagione estiva, grazie all'azione di raffreddamento esercitata dall'acqua sull'aria in movimento.

### 1.1.7 Recupero delle acque meteoriche

Un altro dei temi progettuali principali della bioarchitettura riguarda la risorsa naturale per eccellenza: l'acqua. L'Italia è tra i primi paesi europei nel consumo di acqua potabile, con circa 187 litri per abitante al giorno (per avere una stima critica di tale dato si noti che la Commissione Mondiale per l'acqua stabilisce in 40 litri per abitante al giorno la quantità sufficiente a soddisfare i bisogni quotidiani); di questi il 48% è destinato alla pulizia personale, alla cura del corpo, alla cucina e al lavaggio delle stoviglie, mentre la restante parte viene utilizzata per il risciacquo dei wc, l'irrigazione dei giardini, le pulizie domestiche e il funzionamento di lavatrici e lavastoviglie<sup>7,8</sup>.

Proprio su quest'ultima percentuale si può intervenire ricorrendo all'utilizzo dell'acqua piovana, una risorsa naturale a costo nullo. Si tenga presente che l'acqua piovana è contaminata da diversi elementi: sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera (si consideri ad esempio il noto fenomeno delle cosiddette "piogge acide"), sostanze rilasciate dai materiali che compongono i sistemi di raccolta delle acque (ad esempio piombo da convesse o raccordi, idrocarburi e polimeri dalle guaine impermeabili, frammenti e polveri da tegole, coppi, lastre, ecc.), sostanze organiche che si depositano sulle coperture degli edifici, batteri e virus derivanti dallo sterco di uccelli e animali che sostano sulle coperture degli edifici. Per tale motivo prima dell'utilizzo, l'acqua piovana deve essere depurata e ossigenata all'interno di cisterne con serbatoi filtranti e camere di percolazione. Le vasche di raccolta possono essere agevolmente collocate sotto terra, fuori terra, all'interno dell'edificio, ma anche integrate in elementi di arredo esterno<sup>9</sup>.

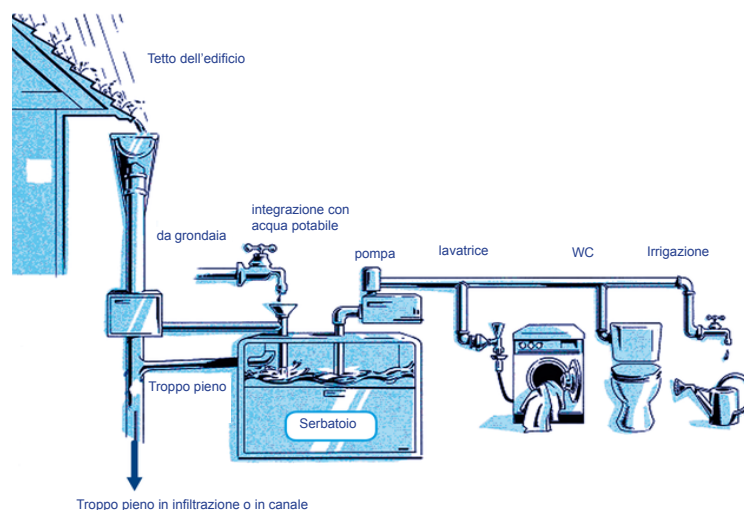


Fig. 4: Schema di recupero delle acque meteoriche per un'abitazione



Fig. 5: Serbatoio di raccolta dell'acqua piovana interrato



Fig. 6: Serbatoio di raccolta dell'acqua piovana integrato in un elemento di arredo esterno

## 2. Materiali

I materiali da costruzione costituiscono circa il 50% della materia estratta dalla crosta terrestre per le attività umane. Se oltre alle fasi di estrazione e lavorazione, si considera anche quella di messa in opera, i prodotti edili sono responsabili di circa il 40% del consumo globale di energia primaria e delle emissioni di gas serra. Inoltre, una volta utilizzati e prima dell'eventuale riciclo o smaltimento finale, gli stessi costituiscono il 50% dei scarti generati dalle attività produttive.

Appare, dunque, evidente che la scelta dei materiali da costruzione riveste un ruolo fondamentale nell'ottica di garantire la sostenibilità ambientale; essa deve essere orientata a limitare il più possibile il consumo di energie non rinnovabili, per centrare l'obiettivo di riduzione della CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera, ma anche a ridurre i costi di esercizio e manutenzione dell'edificio, che incidono in misura considerevole sulla sostenibilità economica dello stesso e a favorire l'impiego di materiali a lunga durata o facilmente riciclabili.

A tale proposito, si assiste negli ultimi anni ad un ritorno all'impiego di materiali naturali – legno, pietre, sughero, bambù, isolanti in fibra vegetale, intonaci e vernici “traspiranti”, ecc. – che meglio rispondono all'esigenza di ridurre il consumo energetico e le spese di manutenzione, trattandosi di materiali che subiscono una degradazione più lenta rispetto a quelli artificiali, garantendo allo stesso tempo pari prestazioni funzionali e condizioni di vita più confortevoli per gli utenti del manufatto.

La spinta all'utilizzo di materiali naturali è testimoniata dal moltiplicarsi di elementi e soluzioni costruttive presenti sul mercato, risultato degli studi e delle sperimentazioni condotte da aziende, università e centri di ricerca, tesi a reinserire questi materiali nella pratica edilizia con le loro funzioni tradizionali, ma anche in nuove vesti: si pensi, ad esempio, ai *pallet* utilizzati per realizzare elementi d'arredo e persino piccole abitazioni.

Il livello di ecosostenibilità di un materiale da costruzione non si esaurisce, tuttavia, nella sua provenienza (materiale naturale / materiale “artificiale”). Come già affermato, per valutare l'impatto di un prodotto sull'ambiente, occorre analizzare tutte le fasi del suo ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime, alla fabbricazione, all'esercizio, fino al riciclo.

Estendendo la valutazione a tali aspetti si scopre che anche materiali non naturali – ad esempio malte e calcestruzzi prodotti con l'impiego di scarti della produzione industriale o con aggregati artificiali provenienti da demolizione –, possono risultare sostenibili se confezionati, utilizzati e smaltiti all'interno di una filiera organizzata secondo criteri ecologici.

È questo il compito delle metodologie di valutazione sviluppate negli ultimi anni, che individuano il livello di sostenibilità di prodotti e materiali edilizi, considerando una serie di indicatori ambientali, sociali ed economici variabili nel tempo: LCA (*Life Cycle Assessment*), LCC (*Life Cycle Costs*) e MFA (*Material Flow Analysis*) sono tre esempi di tale approccio.

### 2.1 LCA o Valutazione del ciclo di vita

La LCA è un metodo standardizzato nelle norme della serie ISO 14040:2006 che considera gli impatti ambientali, economici e sociali di un materiale, di un processo di trasformazione, di un servizio, sulla salute umana e sull'ecosistema, fornendo le informazioni necessarie a guidare le scelte operative e i comportamenti verso criteri di sostenibilità.

Nel 1991 la SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) ha definito la LCA come un “processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia ed energia e delle emissioni nell'ambiente e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto (“dalla culla alla tomba”): dall'estrazione e lavorazione delle materie prime, alla produzione trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l'uso”<sup>10</sup>.

Una LCA prevede le seguenti fasi:

1. Definizione degli obiettivi (*Goal Definition* - ISO 14041): vengono definiti la finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema analizzato, i dati necessari all'analisi, eventuali assunzioni preliminari e i metodi di verifica<sup>11</sup>;
2. Inventario (*Life Cycles Inventory Analysis* - ISO 14041): vengono “individuati e quantificati, flussi in ingresso e in uscita da un sistema-prodotto, lungo tutta la sua vita”<sup>12</sup>, è la fase nella quale si

- quantificano i consumi di risorse (materie prime, acqua, prodotti riciclati), di energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo determinando, in tal modo, un bilancio ambientale;
3. Valutazione degli impatti (*Impact Assessment* - ISO 14042): si definiscono le grandezze e gli impatti ambientali di un sistema-prodotto, successivamente aggregati in funzione degli effetti che possono procurare sull'ambiente, utilizzando varie categorie riconducibili a tre aree: consumo di risorse, inquinamento, conservazione dell'ambiente.
  4. Analisi dei miglioramenti (*Improvement Analysis* - ISO 14043): i risultati ottenuti vengono tradotti e interpretati per verificare l'ottenimento degli obiettivi ed elaborare un rapporto finale sullo stato di fatto e sulle azioni da porre in essere per migliorare o eliminare eventuali situazioni di criticità.

Attraverso una LCA il progettista può selezionare durante la fase di progettazione (sia che si tratti di nuova costruzione che di ristrutturazione) materiali e componenti edili a basso impatto ambientale e comunicare le sue scelte anche all'utente dell'edificio con una forma oggettiva e scientificamente riconosciuta.

Sono disponibili diversi software basati sull'LCA comprendenti database relativi a materiali e processi di lavorazione presentati in forma disaggregata e quindi personalizzabili a seconda del progetto di riferimento, tra i quali SimaPro, Boustead e Gabi.

## 2.2 Materiali da costruzione

Come già affermata nei precedenti paragrafi, affinché un materiale possa essere considerato ecologico deve possedere alcune caratteristiche fondamentali: produzione con materie prime naturali non alterate da processi chimici, basso dispendio energetico durante tutto il ciclo di vita, durabilità, assenza di sostanze tossiche e riciclabilità.

Tra i materiali da costruzione più comuni che rispondono a tali requisiti vi sono diversi tipi di laterizio, blocchi in calcestruzzo porizzato e in argilla espansa, pietre naturali e terra cruda. Di seguito vengono sinteticamente presentate le caratteristiche principali di ciascuno di essi.

### 2.2.1 Laterizi

Con il termine "laterizio" si indicava in epoca romana il mattone utilizzato nell'*opus latericium* ovvero la tecnica di realizzazione del paramento murario. Oggi il termine è utilizzato per individuare tutta la gamma di prodotti cui appartengono il mattone, pieno e forato, la pignatta, la tavella, la volterrana, il coppo, la tegola marsigliese, ecc., Utilizzati per la realizzazione di strutture verticali (muri portanti, di tamponamento, ecc.) e orizzontali (solai, coperture, ecc.).

I laterizi sono ottenuti da un impasto di argilla, sabbia e acqua, che dopo la miscelazione, viene conformato tramite estrusione o stampaggio. La successiva essiccazione e cottura in forni a tunnel alla temperatura di 1200° restituisce il prodotto finale.

Per migliorare le prestazioni isolanti del materiale all'impasto crudo possono essere aggiunti diversi componenti tra i quali palline di polistirolo, segatura, residui della lavorazione della carta o altri materiali di scarto, che dopo la cottura vengono eliminati generando piccoli pori d'aria; in tal modo la densità del laterizio risulta ridotta e il potere di isolamento termo-acustico aumentato.

Si tratta, dunque, di prodotti a base di materie prime naturali, la cui produzione non genera rifiuti; viceversa consente di smaltire gli scarti provenienti da altre lavorazioni. Si tenga presente, tuttavia, che il processo di cottura dei laterizi richiede un'elevata quantità di energia termica generalmente prodotta tramite combustibili fossili dal forte impatto ambientale. Tale problema può essere risolto alimentando le fornaci attraverso fonti di energia rinnovabili, riducendo in tal modo le emissioni di CO<sup>2</sup> in atmosfera e realizzando un prodotto effettivamente ecosostenibile.

I laterizi presentano, inoltre, la possibilità di essere riciclati dopo il consumo – ad esempio dopo la frantumazione possono essere utilizzati come strato di sottofondo per la realizzazione delle strade – e durante il processo di produzione dal momento che gli scarti di un ciclo vengono riutilizzati nel ciclo successivo.

### 2.2.2 Blocchi in calcestruzzo con argilla espansa

I blocchi in calcestruzzo con argilla espansa sono ottenuti attraverso l'aggiunta di granuli di argilla espansa all'impasto comunemente utilizzato per la fabbricazione di blocchi per pareti portanti, di tamponamento, pareti divisorie e pavimentazioni. L'argilla espansa si ottiene dalla macinazione in granuli e

cottura dell'argilla cruda; in fase di riscaldamento i granuli, sottoposti a temperature progressivamente crescenti, subiscono, per conseguenza dello sviluppo anidride carbonica e acqua, una espansione. Il successivo passaggio in un letto fluido di correnti d'aria provoca il raffreddamento dei granuli e l'indurimento del loro strato esterno (clinkerizzazione), mentre il nucleo interno rimane poroso. Ciò conferisce al materiale una notevole leggerezza e al contempo una buona resistenza meccanica. I granuli sfusi di argilla espansa hanno una buona inerzia termica e resistenza alla compressione. Essendo di origine minerale, sono incombustibili e refrattari, chimicamente inerti e stabili nel tempo, immarcescibili e resistenti all'umidità.

La presenza dei granuli di argilla espansa conferisce ai blocchi in calcestruzzo un ottimo potere di isolamento termico ed acustico, oltre ad una notevole leggerezza, che agevola la loro posa in opera e si traduce dunque in un vantaggio economico. Essendo permeabili al vapore acqueo questi blocchi evitano la formazione di condensa e muffa all'interno delle pareti garantendo la traspirabilità dell'edificio. Le loro proprietà ignifughe la geometria controllata dei blocchi in argilla espansa consente, inoltre, di minimizzare l'impiego di malta nei giunti e di ridurre eventualmente lo strato di intonaco.



Fig. 7: Granuli di argilla espansa



Fig. 8: Blocco in calcestruzzo con argilla espansa

### 2.2.3 Pietre naturali

La pietra naturale è il materiale da costruzione per eccellenza. Radicato nella tradizione storica per secoli, esso è stato progressivamente abbandonato nel '900 in seguito all'introduzione di materiali come l'acciaio, il calcestruzzo armato e il vetro. Negli ultimi anni, tuttavia, sotto la spinta verso un ritorno a componenti edili naturali con basso impatto ambientale, le proprietà della pietra sono state riscoperte e sfruttate non soltanto per ristrutturazioni di edifici esistenti, ma anche per nuove costruzioni. In chiave bioecologica la pietra è certamente un materiale appropriato, ma occorre considerare un serie di requisiti fondamentali:

- proprietà bioecologiche: permeabilità e conducibilità termica; in particolare quest'ultima indica l'attitudine del materiale a trasmettere il calore; per garantire l'isolamento termico dell'edificio tale parametro deve essere ridotto il più possibile.; la permeabilità al vapore di un materiale è indice della sua traspirabilità e quindi della capacità di regolare il tasso di umidità all'interno degli ambienti;
- peso di volume: a seconda di esso le pietre vengono classificate in cinque categorie, da molto leggere (fino a 1000 kg/mc – es. pomici) a molto pesanti (oltre 3000 kg/mc – es. basalti e graniti).
- grado di compattezza e porosità: tali caratteristiche incidono sulla durevolezza della pietra; la porosità, con la conseguente possibile imbibizione contribuiscono alla disgregazione del materiale esposto agli agenti atmosferici;
- durevolezza: è la capacità della pietra di resistere alla degradazione nel tempo; tale proprietà dipende da vari fattori quali gli sbalzi termici, l'assorbimento di acqua che risulta dannoso in caso di gelo, l'aggressione da parte di sostanze nocive presenti nell'atmosfera o di agenti organici, ecc.;
- resistenza: con tale termine si intende una serie di proprietà come resistenza a compressione, a trazione, a flessione, all'urto e all'usura;
- aspetto e colore: la colorazione di una pietra dipende dalla sua composizione e dal tipo di lavorazione; da sottolineare che il colore cambia nel tempo per effetto dell'ossidazione e degli agenti

- atmosferici, portando in genere a tonalità monocromatiche;
- affinità con le malte: dovrebbero essere utilizzate pietre che presentino affinità compositive e di aderenza con le malte per garantire la monoliticità del manufatto, anche rinunciando ad una percentuale di resistenza.

Tra le pietre da costruzione più comuni si ricordano: tufo, granito, travertino, marmo, gneiss, diorite, sienite, porfido e basalto. A seconda della lavorazione alla quale possono essere sottoposte le pietre naturali vengono classificate in:

- pietra grezza: pezzi informi ottenuti dalla spaccatura dei massi rocciosi;
- pietra conca: pezzi di forma piuttosto regolare ottenuti dallo sbizzo delle pietre grezze e utilizzati per murature e pavimentazioni;
- pietra da taglio: pezzi lavorati su tutte le facce impiegati per murature di maggior pregio;
- lastre: elementi con diversi gradi di lavorazione che possono essere lucidati e levigati, utilizzati per coperture di parapetti, davanzali di finestre, gradini e pianerottoli.

Nell'ambito di una progettazione ecosostenibile, oltre alle caratteristiche fisico-chimico ed estetiche di una pietra è necessario tenere presente aspetti come l'accessibilità al giacimento, ovvero la possibilità di raggiungerlo senza eccessivi costi e rischi, la facilità di trasporto e le dimensioni della cava, che risultano determinano la quantità di materiale disponibile.

### 2.2.4 Terra cruda

La terra cruda si ottiene dall'essiccazione di una miscela di argilla, fibre vegetali – soprattutto canapa e paglia – e inerti di diversa granulometria come sabbia e ghiaia. Si tratta di un materiale da costruzione naturale conosciuto sin dall'antichità, che risulta facilmente lavorabile, a basso impatto ambientale e totalmente riciclabile. Grazie alla possibilità di variare le dosi della miscela, la terra cruda può essere utilizzata per pareti portanti, coperture, pavimentazioni e finiture. L'elevata inerzia termica del materiale garantisce un ottimo isolamento termico degli edifici e consente l'applicazione anche in climi estremi; l'argilla agisce, inoltre, da "spugna", assorbendo l'umidità in eccesso e rilasciandola in caso di ambiente secco, mantenendo in tal modo il tasso di umidità relativa nella fascia di comfort per l'uomo.

A seconda delle proporzioni tra i vari componenti della miscela si distinguono tre tipi di messa in opera della terra cruda. Quando l'impasto è povero di argilla si utilizza la tecnica della terra battuta o del pisè che consiste nell'inserire la terra all'interno di casseforme aventi le dimensioni del muro da realizzare; una volta gettato il primo strato, questo viene compattato – battuto – e si procede nello stesso modo per gli strati successivi. Se la percentuale di argilla e sabbia è elevata si impiega la tecnica del mattone crudo: la terra viene inserita, unitamente alla paglia, all'interno di stampi in legno che vengono successivamente capovolti per essere essiccati. Per impedire che l'acqua presente nei mattoni evapori troppo rapidamente causando il ritiro degli stessi, l'essiccazione avviene sotto cumuli di sabbia. In ultimo, quando nella miscela è presente un'elevata porzione di limo, si adotta la tecnica del torchis che consiste nello stendere l'impasto di terra e sabbia su un'intelaiatura in legno ancorata alla struttura dell'edificio.



Fig. 9: Muro in pisè, Nk'mip Desert Cultural Centre, Canada, 2008



Fig. 10: Edificio realizzato con la tecnica del torchis

A differenza di quanto avviene in Germania, Svizzera e Francia, in Italia la terra cruda non è riconosciuta tra i materiali da costruzione pertanto non possono essere realizzati edifici con tale materiale, nonostante essi siano presenti nella tradizione storica del nostro Paese.

## 2.3 Materiali isolanti

La spinta verso l'utilizzo di prodotti ecosostenibili per l'edilizia ha subito la maggiore accelerazione forse proprio nel campo dei materiali isolanti, per il quale si assiste negli ultimi anni al moltiplicarsi delle soluzioni presenti sul mercato. Da sottolineare che l'isolamento termico di un edificio – spesso connesso con quello acustico, anch'esso influente in relazione al benessere ambientale – è uno degli aspetti fondamentali della progettazione: il consumo energetico di un organismo edilizio è infatti determinato dagli scambi termici e dalle dispersioni che avvengono attraverso l'involucro esterno; l'utilizzo di materiali dalle elevate prestazioni termoisolanti determina la riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio e dunque una minore emissione di CO<sub>2</sub> prodotta dagli impianti di riscaldamento e/o condizionamento e un sensibile abbattimento dei costi di esercizio.

Quello energetico non è tuttavia l'unico aspetto da tenere in considerazione: materiali “artificiali” di origine petrolifera – polistirene espanso o estruso, poliuretano, ecc. – possono avere capacità isolanti molto elevate, ma la loro produzione induce rischi di inquinamento ambientale; può verificarsi, inoltre, l'emissione di sostanze tossiche in caso di incendio e il riciclo di tali elementi non è sempre praticabile. La scelta dell'isolante dovrebbe, quindi, essere orientata verso materiali di origine vegetale o animale come fibra di legno, sughero, cellulosa, lana di pecora, fibre di cotone o lino.

### 2.3.1 Fibra di legno

I pannelli in fibra di legno sono i componenti isolanti di origine naturale maggiormente utilizzati. Il processo di produzione prevede la macinazione di legni di abete rosso o pino; le fibre ottenute vengono sottoposte ad essiccazione in forni ad alte temperature (350°) e pressate; l'aggiunta di allume consente lo sprigionamento delle resine naturali del legno che conferiscono al pannello una notevole idrorepellenza accresciuta da trattamenti con cera o lattice. Il procedimento utilizza materie prime naturali – residui di segheria, legni deboli, ecc. – e il componente realizzato risulta completamente riciclabile: i resti dei pannelli possono essere, infatti, riutilizzati per produrre altri isolanti o destinati al compostaggio.

I pannelli in fibra di legno possiedono ottime capacità di isolamento termico – il coefficiente di conducibilità termica è pari a circa 0,04 W/mK – ed acustico, dovuto all'intreccio delle fibre che impedisce la propagazione delle onde sonore. La struttura aperta delle lastre consente il passaggio del vapore acqueo, pertanto il materiale favorisce la traspirabilità di coperture o pareti, garantendo la naturale regolazione dell'umidità all'interno degli ambienti. Aspetto non secondario è la qualità estetica dei pannelli, che consente di creare ambienti gradevoli per gli occupanti, i quali possono avvertire sensazioni di benessere visivo e tattile grazie all'origine naturale del materiale.



Fig. 11: Fibra di legno



Fig. 12: Pannello isolante in fibra di legno

### 2.3.2 Sughero

I pannelli in sughero sono ottenuti dalla pressatura di trucioli della corteccia meno pregiata (maschio) di un particolare tipo di quercia (*Quercus Suber L.*) sughero. Anche in questo caso, si tratta di componenti

realizzati con materie prime naturali, biodegradabili e privi di sostanze tossiche; da notare, tuttavia, che il ciclo di rigenerazione della corteccia dell'albero ha una durata di circa nove anni. Il tessuto del sughero è costituito da cavità cellulari contenenti aria, in numero variabile da 30 a 40 milioni per  $\text{cm}^3$ . Questa particolare struttura conferisce al materiale elevata elasticità, resistenza meccanica e ottime proprietà di isolamento termico – il coefficiente di conducibilità termica è pari a circa  $0,038 \text{ W/mK}$  – ed acustico; si tratta, inoltre, di un materiale impermeabile, ignifugo e inattaccabile da insetti, roditori, tarli e batteri.

I pannelli, commercializzati nel formato  $50 \times 100 \text{ cm}$  di spessore variabile da 1 a 6 cm, vengono utilizzati per isolare termicamente ed acusticamente strutture verticali – pareti esterne e tramezzature – e orizzontali – solai, mansarde, tetti –, Essendo imputrescibile il sughero può essere posizionato direttamente sotto lo strato di copertura in tegole o coppi, senza l'installazione di una guaina impermeabile.



Fig. 13: Cortecce di quercia da sughero



Fig. 14: Pannelli isolanti in sughero pressato

### 2.3.3 Fibra di cellulosa

L'isolante in cellulosa viene prodotto dalla macinatura dei fogli di giornale; i fiocchi ottenuti vengono trattati con sali borici (naturali) a scopo ignifugo e antiparassitari. Il processo di produzione risulta poco inquinante, ma il materiale ottenuto non può essere conferito in discarica a causa della presenza dei detti sali e deve essere incenerito.

La fibra di cellulosa possiede un coefficiente di conducibilità termica pari a circa  $0,037 \text{ W/mK}$  che la rende un ottimo isolante termico; infatti, grazie alle minuscole cavità presenti nei fiocchi, la trasmissione del calore viene ostacolata. Il materiale è caratterizzato, inoltre, da un'elevata igroscopicità: è in grado di assorbire circa il 30% dell'umidità presente in un ambiente e di restituirla lentamente, garantendo il comfort abitativo.

La messa in opera può avvenire per insufflaggio dei fiocchi all'interno delle intercapedini o tramite spruzzo sulle pareti del materiale precedentemente bagnato. Oltre ai fiocchi, si trovano in commercio pannelli in cellulosa pressati che possono essere utilizzati come rivestimenti per pareti esistenti nei casi di ristrutturazione.



Fig. 15: Focchi di cellulosa



Fig. 16: Pannelli isolanti in fibra di cellulosa

## 2.4 Materiali di finitura

I materiali di finitura rappresentano la “pelle” dell’edificio, l’ultimo strato attraverso il quale avviene lo scambio con l’ambiente esterno ed interno. Appare evidente, dunque, che nella scelta di tali materiali occorre porre la massima attenzione poiché si rischia di vanificare tutte le strategie adottate durante la costruzione: è insensato, infatti, realizzare un edificio con un’ottima struttura bioecologica, tanto dal punto di vista costruttivo quanto da quello impiantistico, e poi rifinirlo con materiali non traspiranti e contenenti sostanze chimiche dannose per l’ambiente e per l’uomo.

Assunta questa considerazione, la scelta dei materiali di finitura riguarda sostanzialmente due elementi: l’intonaco e la pittura.

### 2.4.1 Intonaci naturali

L’intonaco è lo strato di malta applicato sulle pareti murarie per ottenere una superficie omogenea, eventualmente trattabile con vernici e pitture, il cui principale scopo è la protezione da fattori meccanici e climatici. Il requisito fondamentale da tenere presente nella scelta delle materie con le quali l’intonaco viene prodotto, è la traspirabilità delle pareti: queste devono fungere da filtri regolatori per gli ambienti interni, lasciando passare il vapore acqueo per garantire il corretto tasso di umidità – e quindi la salubrità dell’aria interna – ed evitare la formazione di condensa sulle pareti.

L’attenzione rivolta a questo aspetto, specie negli ultimi anni, ha portato alla commercializzazione di decine di prodotti da intonaco, generalmente a base di calce idraulica naturale, con proprietà deumidificanti e traspiranti.

Un caso particolare riguarda l’intonaco in argilla cruda, materiale naturale, di facile estrazione e riciclabile al 100%. Si tratta di una malta costituita da argilla, sabbia e acqua con ottime prestazioni igrometriche: l’argilla, infatti, possiede la capacità di assorbire ed espellere velocemente l’umidità garantendo la qualità dell’aria negli ambienti interni; oltre al vapore acqueo, vengono assorbite anche le sostanze nocive e gli odori. L’argilla è inoltre caratterizzata da un’elevata capacità termica, che consente alle pareti di accumulare e irraggiare il calore a seconda della temperatura degli ambienti, che rimane in tal modo pressoché costante nell’arco della giornata. In ultimo, vanno considerati l’ottimo potere fonoisolante dell’argilla e il comportamento elettrostatico favorevole, che evita il deposito di polvere sulle pareti.

### 2.4.2 Vernici e pitture naturali

Nell’ottica di garantire il benessere psico-fisico di coloro che occupano un ambiente interno, la scelta delle vernici e delle pitture riveste chiaramente un ruolo fondamentale; i requisiti principali da tenere presenti sono due: devono essere selezionati prodotti che non contengano sostanze chimiche nocive per l’uomo, composti organici volatili (VOCS – *Volatile Organic Compounds*) e realizzati con processi a basso impatto ambientale; vernici e pitture devono fungere da filtri naturali per le pareti, lasciando traspirare le superfici e regolando il tasso di umidità, specie in locali come la cucina e il bagno.

La tinteggiatura all’acqua è il tipo di vernice bioclimatica più comune; essa è composta da resine speciali in dispersione acquosa che, oltre ad essere adatta a qualsiasi superficie murale interna ed esterna, risulta traspirante, lavabile, idrorepellente, inodore e non infiammabile.

Un altro tipo di vernice ecologica è la pittura a latte di calce, ottenuta da una miscela di idrossido di calcio (95%), acqua purissima e terre naturali disponibili in circa cinquanta tonalità di colore. La tinta si adatta ottimamente a pareti interne precedentemente rifinite con intonaci traspiranti a base di calce, mentre per l’utilizzo su pareti esterne è consigliabile aggiungere alla miscela 1 litro di latte vaccino, per incrementarne la resistenza agli agenti atmosferici. Trattandosi di un materiale naturale, il latte di calce è altamente traspirante e svolge, inoltre, una buona funzione battericida che lo rende adatto ad ambienti ove l’umidità di condensa può creare macchie (cucina, bagno, ecc.).

La pittura ai silicati naturali rappresenta un’altra alternativa bioclimatica per la tinteggiatura delle pareti. Si tratta di un prodotto per esterni a base di resine silossaniche in dispersione acquosa, che garantisce un’ottima traspirabilità, pur risultando particolarmente impermeabile agli agenti atmosferici; questo tipo di pittura è, inoltre, resistente ai cicli di gelo e disgelo, inodore, non infiammabile e non tossica.

Vi sono poi alcuni tipi di tempere a base di colle vegetali come il latte e l’uovo. Si tratta di prodotti totalmente traspiranti e biodegradabili che possiedono un’ottima lavorabilità e scorrevolezza; sono utilizzabili soltanto per ambienti interni privi di umidità e su intonaci a base di calce non precedentemente trattati con pitture sintetiche.

La pittura alla caseina è un trattamento murale opaco composto da caseina di latte e polveri di minerali naturali; si tratta di una pittura molto resistente al contatto, applicabile su ogni tipo di superficie interna, semilavabile e con sfumature cromatiche brillanti ma, come le tempere al latte e all'uovo, teme il ristagno d'acqua.

## 2.5 Certificazione dei materiali ecosostenibili

Nei precedenti paragrafi è stata più volte affermata l'importanza della scelta dei materiali da costruzione in chiave ecosostenibile, per ragioni ambientali, economiche e sociali. È evidente che l'incentivazione all'impiego di tali prodotti necessita di sistemi di certificazione che siano in grado di comunicare in modo standardizzato non soltanto le caratteristiche energetico-ambientali di un materiale o di un componente edilizio, ma anche quelle economiche.

La Comunità Europea svolge da anni un'intensa attività in tale direzione, attraverso il finanziamento di studi e ricerche nel settore e l'istituzione di specifici Comitati Tecnici con il compito di elaborare strumenti normativi adeguati; la maggior parte degli Stati Membri, inoltre, sta attuando iniziative con lo scopo di qualificare i prodotti edilizi.

Uno dei primi risultati di regolamento collettivo è la norma ISO 21931-1:2010 "*Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings*" che definisce alcuni metodi per la determinazione dell'impatto ambientale di edifici nuovi ed esistenti. I risultati di tali valutazioni devono essere utilizzati per confrontare le prestazioni e monitorare il progresso del settore delle costruzioni all'interno del quadro dello sviluppo sostenibile.

L'efficacia della norma ISO 21931-1 è garantita se le valutazioni condotte attraverso i metodi da essa individuati possono essere tradotte e comunicate in maniera altrettanto standardizzata a tutti i soggetti coinvolti nella filiera edilizia, dai produttori agli utenti del manufatto. È questo lo scopo della serie di norme ISO 14020 "Etichette e dichiarazioni ambientali" inerente l'etichettatura ambientale dei prodotti e dei servizi. Questa deve fornire informazioni su tutto il ciclo di vita di un componente, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento (riciclo), ricavate da metodologie scientifiche riconosciute.

Le norme individuano tre tipi di etichettatura:

- TIPO I (ISO 14024:2001): Etichette ecologiche sottoposte a certificazione da parte di un ente terzo indipendente, il quale verifica l'applicazione dei criteri previsti dalla norma, diversi a seconda della categoria a cui appartiene il prodotto. Sono volontarie e basate su un sistema che considera l'intero ciclo di vita del prodotto; tra queste rientra, ad esempio, il marchio europeo di qualità ecologica Ecolabel;
- TIPO II (ISO 14021:2012): Etichette ecologiche che riportano auto-dichiarazioni ambientali (tra le quali: Riciclabile, Compostabile, ecc.) da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti; non è prevista la certificazione da parte di un ente terzo, ma solo il rispetto delle modalità di diffusione e dei requisiti relativi ai contenuti dell'informazione.
- TIPO III (ISO 14025:2010): Etichette ecologiche che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e che contengono una quantificazione degli impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto calcolati attraverso una LCA. Sono sottoposte a un controllo indipendente e presentate in forma chiara e confrontabile. Tra di esse rientrano, ad esempio, le EPD (*Environmental Product Declaration*) o Dichiarazioni Ambientali di Prodotto.

L'etichettatura di tipo III è quella utilizzata nel settore delle costruzioni, per la capacità di trasmettere ai progettisti informazioni tecniche sulle caratteristiche ambientali dei prodotti e dunque di guidarli verso scelte mirate ad ottenere un certo livello di sostenibilità dell'edificio. Nei paragrafi seguenti vengono sinteticamente descritte le caratteristiche principali del marchio *Ecolabel* e delle EPD.

### 2.5.1 Ecolabel

L'etichetta *Ecolabel* identifica prodotti e servizi (ad esclusione di quelli farmaceutici ed alimentari) con un ridotto impatto ambientale durante il loro ciclo di vita, dall'estrazione delle risorse naturali allo smaltimento. Riconosciuta dall'Unione Europea, l'*Ecolabel* prevede un sistema di certificazione su base volontaria al quale aderiscono centinaia di aziende appartenenti agli Stati Membri, ma anche a Norvegia, Islanda e Liechtenstein. Il possesso dell'eco-etichetta rappresenta, infatti, un valido fattore competitivo:

il consumatore può riconoscere dal marchio un prodotto realizzato nel rispetto dell'ambiente e dunque rivolgere ad esso il proprio interesse.

I criteri e i metodi di prova da utilizzare per redigere la documentazione necessaria ad ottenere l'eco-etichetta, sono descritti nelle norme della serie 14020.

L'ottenimento del marchio *Ecolabel* è assoggettato all'invio di una domanda, corredata di tutti i documenti, i certificati e le schede tecniche relative al prodotto, al Comitato Ecolabel-Ecoaudit, Sezione Ecolabel, da parte dell'azienda interessata. In Italia l'ISPRA (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Ricerca Ambientale) è l'ente incaricato di eseguire le verifiche tecniche e le prove di laboratorio necessarie, l'esito delle quali viene comunicato al Comitato entro 60 giorni. Lo stesso esito viene notificato alla Commissione Europea che può asseverare o rigettare la domanda entro 30 giorni; in caso positivo il Comitato stipula con l'azienda un contratto per l'utilizzo del marchio, valido esclusivamente per il prodotto esaminato<sup>13</sup>.

### 2.5.2 EPD o Dichiarazione Ambientale di Prodotto

I risultati delle LCA condotte su materiali e componenti edilizi vengono inseriti all'interno della Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP o EPD *Environmental Product Declaration*). Si tratta di un documento volontario che accompagna la commercializzazione di un prodotto, la cui struttura e i cui contenuti sono disciplinati a livello internazionale dalla norma ISO 21930:2007 "*Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products*" elaborata dal comitato TC 59/SC 17 "*Sustainability in building construction*" della commissione tecnica ISO TC 59 "*Building in Construction*". La ISO 21930 è uno Standard Internazionale che, in accordo con i principi della ISO 14025 "Dichiarazioni ambientali di Tipo III" e della ISO/DIS 15392 "*General Principles*", ha lo scopo di descrivere i principi, i requisiti e la struttura della *dichiarazione ambientale di Tipo III* dei prodotti da costruzione al fine di dare uniformità dei mezzi, delle modalità e di garantire la trasparenza, la coerenza e la solidità scientifica della metodologia con cui si giunge alla dichiarazione ambientale dei prodotti da costruzione<sup>14</sup>.

Lo scopo di una EPD è quello di favorire la comunicazione tra produttori (*business to business*) e tra produttori e consumatori (*business to consumers*): essa contiene, infatti, informazioni oggettive e confrontabili relative alle prestazioni ambientali di un prodotto che hanno il solo obiettivo di comunicare le qualità dello stesso, non prevedendo modalità di valutazione, criteri di preferibilità o livelli prestazionali minimi<sup>15</sup>.

Il sistema delle EPD possiede grandi potenzialità per la sua capacità di attivare meccanismi competitivi tra aziende che perseguono l'obiettivo della sostenibilità, guidare le scelte dei consumatori verso prodotti ecologici e supportare le Pubbliche Amministrazioni nelle politiche di acquisto.



Fig. 17: Etichetta ecologica *Ecolabel*



Fig. 18: Ciclo di Mobius - simbolo del riciclabile (etichetta ecologica di tipo II)



Fig. 19: Etichetta ecologica EPD

### 2.5.3 Certificazione ambientale del legno

Tra i sistemi di certificazione ambientale dei prodotti edilizi una sezione specifica è dedicata al legno, materiale da costruzione sin dall'antichità, ecologico per eccellenza e derivante da una risorsa naturale assai preziosa: le foreste.

È impossibile riferirsi alla bioarchitettura senza affrontare il tema fondamentale della gestione sostenibile delle foreste. Con tale termine, adottato nel 1993 dalla Conferenza Ministeriale per la Protezione delle Foreste in Europa, si intende la gestione e l'uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e ad

un tasso di utilizzo che consentano di mantenerne la biodiversità, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e potenzialità di adempiere, ora e nel futuro, a rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza comportare danni ad altri ecosistemi.

La certificazione forestale ha origine dalla crescente esigenza dei consumatori di poter disporre di prodotti a base di legno proveniente da boschi gestiti in maniera corretta, sia da un punto di vista ecologico che economico e sociale. La collettività è sempre più sensibile verso i temi ambientali e della gestione del territorio e di conseguenza il mercato accorda sempre di più la preferenza a quei manufatti realizzati con legname proveniente da foreste gestite in modo sostenibile, anche per essere sicuri che il legname non provenga da foreste tagliate illegalmente. Per avere questa garanzia, la gestione del bosco deve essere certificata da un ente indipendente sulla base di standard gestionali riconosciuti e condivisi: in tal modo è possibile ottenere la certificazione della Gestione Forestale Sostenibile (GFS).

Il legname o la fibra che deriva da tali boschi può essere marchiato per poter rimanere rintracciabile nelle varie fasi delle successive lavorazioni, sino al prodotto finito ed è quindi commerciabile come proveniente da boschi gestiti in maniera corretta. Questo secondo tipo di certificazione viene denominato “catena di custodia” (*Chain of Custody - CoC*). Se il manufatto rispetta le condizioni della *chain of custody*, anch'esso sarà riconoscibile dal consumatore finale attraverso uno specifico marchio.

Attualmente esistono soltanto due standard internazionali riconosciuti a livello mondiale che consentono ad un'azienda di ottenere il certificato di Catena di Custodia: il *Forest Stewardship Council (FSC)* e il *Programme for Endorsement of Forest Certification (PEFC)*.

FSC è una organizzazione internazionale non governativa e senza scopo di lucro fondata in Canada nel 1993, che include tra i suoi membri gruppi ambientalisti (WWF, Greenpeace, Legambiente), società commerciali (IKEA), comunità indigene, proprietari forestali, industrie che lavorano e commerciano il legno, ricercatori e tecnici che operano insieme per migliorare la gestione delle foreste in tutto il mondo. Il gruppo FSC-Italia opera in armonia con gli obiettivi e la missione del *Forest Stewardship Council* internazionale. Il marchio FSC identifica i prodotti contenenti legno o derivati del legno provenienti da foreste gestite in maniera corretta e responsabile secondo rigorosi standard ambientali, sociali ed economici. La foresta di origine viene controllata e valutata in maniera indipendente in conformità a questi standard (principi e criteri di buona gestione forestale), stabiliti ed approvati dal Forest Stewardship Council tramite la partecipazione ed il consenso delle parti interessate.

Il PEFC è un'organizzazione non governativa e no-profit nata nel 1999 che si occupa a livello mondiale della gestione sostenibile delle foreste. Grazie agli standard e alle procedure di tracciabilità, il PEFC garantisce la provenienza di legname e prodotti derivati da foreste certificate, applicando uno specifico marchio riconoscibile dalle aziende di trasporto, dalle autorità competenti e dai consumatori. I prodotti cui è applicato il marchio PEFC garantiscono all'acquirente la provenienza da foreste a gestione sostenibile, ma anche il mantenimento della tracciabilità durante le varie fasi della lavorazione.



Fig. 20: Marchio FSC



Fig. 21: Marchio PEFC

### 3. Tecnologie costruttive per la bioedilizia

#### 3.1 Edificio “leggero” ed edificio “pesante”

La distinzione tra edificio “pesante” ed edificio “leggero” riguarda la massa superficiale delle chiusure opache. Con tale termine si definisce la “massa per unità di superficie della parete, compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci, l’unità di misura è il kg/mq”<sup>16</sup>, o in altre parole, quanti chilogrammi di materiale sono presenti in un metro quadrato di superficie.

In linea generale nel caso di edificio “pesante” l’involucro edilizio è costituito da elementi quali blocchi in laterizio, pietra, tufo, calcestruzzo e possiede una massa superficiale variabile tra 250 e 450 kg/mq, mentre nell’edificio “leggero” le pareti possono essere in legno o vetrate e la massa superficiale può raggiungere valori inferiori a 100 kg/mq.

La scelta dell’una o dell’altra tipologia dipende sostanzialmente dalla posizione geografica dell’edificio. I sistemi “leggeri” sono propri delle zone con climi estremi, freddi o caldi, ove le temperature annuali sono pressoché costanti e l’escursione termica tra giorno e notte è ridotta; è il caso delle regioni nordiche, nelle quali l’aspetto fondamentale della progettazione riguarda il contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento invernale, o di quelle africane ove occorre garantire il condizionamento estivo. A tale proposito due esempi di edificio “leggero” ricavati dall’architettura tradizionale sono la baita alpina e l’abitazione africana con struttura aperta e ventilata.

Nei climi temperati, come quello mediterraneo, caratterizzati da un’alternanza di stagioni più marcata e da un’elevata escursione termica diurna/notturna, la condizione invernale e quella estiva rivestono la medesima importanza in termini di contenimento del consumo energetico. In questo caso l’edificio “pesante” risulta ancora la scelta più appropriata (oltre ad essere quella suggerita dalla tradizione, basti pensare ai trulli pugliesi): l’involucro in mattoni, pietra o blocchi in calcestruzzo, con aperture di superficie ridotta consente, in ragione dell’elevata massa superficiale, lo sfasamento temporale dell’onda termica che investe le pareti, stabilizzando le temperature interne. Per chiarire meglio tale concetto basti pensare al caso estivo: una parete spessa in laterizi riceve il picco di temperatura sulla superficie esterna nelle prime ore del pomeriggio; la sua elevata inerzia termica, ovvero la sua capacità di variare lentamente la propria temperatura in risposta alla variazione di temperatura esterna, comporta che il picco di calore raggiunge la superficie interna della parete soltanto nelle ore serali, quando lo stesso si rivela favorevole perché la temperatura esterna si è abbassata. Viceversa in inverno, la stessa parete raggiunge la temperatura minima sulla superficie esterna durante la notte; l’inerzia termica permette al calore accumulato all’interno dell’edificio durante la giornata di fluire verso l’esterno molto lentamente, cosicché la superficie interna della parete raggiunge il minimo valore solo nelle prime ore del mattino quando l’impianto di riscaldamento viene riaccessato.

Proprio sul tema della massa superficiale degli edifici in relazione al contenimento dei consumi energetici estivi, il D. Lgs. 192/2005 “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia” stabilisce all’Allegato I che nelle zone climatiche A, B, C e D (quelle più calde) “la massa superficiale delle pareti opache, verticali, orizzontali e inclinate deve essere superiore a 230 kg/mq”. Secondo lo stesso decreto “gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto del suddetto valore possono essere raggiunti anche con l’utilizzo di tecnologie e materiali innovativi che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell’irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione dei materiali che ne attesti l’equivalenza con le soluzioni tradizionali”<sup>17</sup>.

#### 3.2 Sistemi resistenti in legno

Il legno, come la pietra, è uno dei materiali da costruzione tradizionali il cui utilizzo è stato progressivamente abbandonato nel XXI secolo con l’avvento del calcestruzzo armato. Le sue caratteristiche ecologiche quali la riciclabilità, la leggerezza, la velocità di messa in opera, l’isolamento acustico, termico, elettromagnetico e la resistenza alle azioni sismiche si coniugano perfettamente con l’approccio costruttivo della bioedilizia. Per tale motivo si assiste negli ultimi anni ad un ritorno all’impiego di sistemi resistenti in legno, che sono spesso un’evoluzione di quelli tradizionali, ma anche il risultato di sperimentazioni sulle potenzialità del materiale dagli esiti davvero sorprendenti.

Come ogni materiale da costruzione, il legno presenta anche dei punti deboli, il principale dei quali è la durabilità; quest’ultima dipende da alcuni fattori fondamentali:

- tipo di legno: i legni duri, come quelli ricavati dalla quercia o dal noce, sono più durevoli dei legni teneri provenienti dal pino o dall'abetate;
- taglio: il legno ricavato dal durame, lo strato più interno del fusto, è più resistente di quello dell'alburno, lo strato esterno che è ricco di amido e quindi facilmente attaccabile da insetti xilofagi (tarli);
- zona climatica: l'alternanza di sole e pioggia provoca un continuo rilascio e assorbimento di umidità che, se trattenuta all'interno dello strato legnoso, porta alla formazione di muffe e funghi; l'acqua piovana, inoltre, nel tempo penetra nelle strutture, se queste non sono adeguatamente protette, generando fessure verticali;
- radiazione solare: i raggi UV rappresentano il primo fattore di degrado del legno poiché attivano un processo di ossidazione che porta all'ingrigimento del colore superficiale;
- progetto e messa in opera: nella scelta della stratigrafia delle pareti è fondamentale abbinare al legno materiali traspiranti che lascino passare il vapore acqueo evitando la formazione di condensa, principale responsabile della marcescenza del legno. Particolare cura deve essere prestata nella progettazione dei nodi poiché il legno presenta una resistenza a trazione molto elevata nella direzione delle fibre, ma assai ridotta in direzione perpendicolare.

Per conservare le proprietà del legno è dunque necessario conoscere le caratteristiche delle essenze utilizzate, dell'ambiente circostante, effettuare una attenta progettazione e soprattutto operare una corretta manutenzione, attraverso trattamenti superficiali idonei (vernici impregnanti, cere protettive idrorepellenti, pulitori, ecc.).

Dal punto di vista costruttivo gli edifici in legno possono essere distinti in due tipologie:

- a telaio (*Balloon frame*): in questo caso la struttura poggia su un basamento in calcestruzzo armato ed è costituita da un'orditura di travi e pilastri in legno connessi rigidamente in corrispondenza dei nodi tramite viti, barre filettate, staffe; gli elementi vengono generalmente prodotti e trattati in fabbrica e successivamente trasportati in cantiere per l'assemblaggio;
- a pannelli prefabbricati (*Platform frame* o *X-LAM*): la struttura è costituita da elementi piani prefabbricati in compensato multistrato composto in genere da tre, cinque o sette strati sovrapposti di lamelle di legno con spessore variabile dai 16 ai 35 mm; la direzione delle lamelle di uno strato è ortogonale a quella delle lamelle dello strato adiacente; in tal modo il pannello presenta un ottimo comportamento meccanico in tutte le direzioni ed eccellenti caratteristiche di stabilità dimensionale, che consentono di ridurre al minimo l'impiego di collanti (i pannelli sono costituiti per il 99,4% da legno e solo per lo 0,6 % da collante). Questi pannelli possono essere impiegati per pareti, solette, tetti in edifici mono e plurifamiliari, palazzine multipiano e per uffici, capannoni industriali, ampliamenti e sopraelevazioni.



Fig. 22: Edificio con struttura a telaio ligneo



Fig. 23: Edificio con struttura in X-LAM a Novello (CN)

Per quanto riguarda la resistenza strutturale, specie alle azioni simiche, i due sistemi sono pressoché equivalenti, ferma restando una corretta progettazione dell'organizzazione planimetrica delle pareti di controvento, dei nodi e dei collegamenti.

Dal punto di vista costruttivo, nella struttura a telaio il pacchetto di isolamento è posizionato tra i pilastri e ciò consentirebbe di ridurre lo spessore della parete; tuttavia la presenza di ponti termici in corrispondenza dell'orditura lignea impone l'inserimento di uno strato aggiuntivo di isolante esterno alla struttura; di fatto, dunque, lo spessore della parete diviene paragonabile a quello di una struttura in X-LAM, ove l'isolante è posto in adiacenza al pannello. In questo caso non esistono ponti termici e la massa della parete è maggiore, condizione che può risultare vantaggiosa per il raffrescamento estivo, specie se si utilizzano materiali isolanti con elevata massa volumica come la fibra di legno. Tramite tale accorgimento, le strutture in legno, tipiche delle regioni fredde, possono adattarsi anche a climi temperati.

### 3.3 Coperture e facciate verdi

Nel paragrafo dedicato alle caratteristiche degli edifici “leggeri” e “pesanti” si è accennato all'importanza della stratigrafia delle pareti esterne allo scopo di ridurre i consumi energetici necessari per il riscaldamento e il condizionamento. In tal senso i materiali da costruzione “artificiali” possono essere abbinati ad una risorsa naturale “viva”: la vegetazione.

La presenza di verde sulla copertura e/o sulle facciate dell'edificio garantisce, infatti, un forte isolamento termico delle strutture sia in estate che in inverno e attenua gli sbalzi termici giornalieri. Nel periodo invernale un tetto inerbito può ridurre la dispersione di calore fino al 10% rispetto a quella di una copertura “standard”, mentre in estate le foglie possono agire da schermo – orientandosi naturalmente in direzione dei raggi solari – e da sistema di raffrescamento; la temperatura superficiale delle foglie è, infatti, prossima a quella esterna pertanto viene evitato il surriscaldamento della copertura o delle facciate e la conseguente trasmissione del calore all'interno dell'edificio.

Da sottolineare che affinché il sistema di isolamento termico vegetale svolga la propria funzione, occorre selezionare opportunamente le essenze arboree: lungo le facciate esposte al sole (sud, sud-est, sud-ovest), è bene piantare specie a foglie caduche che garantiscano l'ombreggiamento in estate e lascino passare i raggi solari in inverno; per le facciate esposte a nord, invece, vanno selezionate specie sempreverdi. Tra le specie più comuni utilizzate per la realizzazione di facciate verdi vi sono le essenze rampicanti come la vite selvatica (*Parthenocissus tricuspidat*), l'edera (*Hedera helix*), l'ortensia (*Hydrangea petiolaris*), il glicine (*Wisteria floribunda*) che si sviluppano lungo le pareti tramite radici aeree. Sistemi più complessi prevedono strutture di supporto ancorate alle pareti (graticci metallici, successioni di vasi, ecc.) che sostengono le essenze; in questo caso la varietà di specie piantumabili è maggiore e si possono ottenere effetti particolarmente suggestivi grazie all'alternanza di colori e forme, variabili anche in base alla stagione di fioritura.



Fig. 24: Edificio con pareti ricoperte da edera



Fig. 25: Parete del Centro Commerciale “Fiordaliso” di Rozzano (MI)

Per quanto riguarda i tetti verdi esistono due principali tipologie di inverdimento: estensivo ed intensivo. Le differenze concernono sostanzialmente la profondità del substrato e la qualità della vegetazione impiantata: nel primo caso si utilizzano specie in grado di adattarsi alle condizioni ambientali esistenti richiedendo uno spessore del substrato assai ridotto (5-10 cm), come muschi, graminacee e piante grasse, che risultano inoltre molto resistenti al freddo e alle alte temperature; nel secondo caso si ha una maggiore profondità del substrato (20-60 cm) e una maggiore differenziazione di specie, ma aumentano il peso gravante sulla struttura e i costi di manutenzione.

L'efficacia della vegetazione sull'edificio non si esaurisce all'isolamento termico dell'involucro. Il rive-

stimento verde funge anche da protezione degli strati sottostanti consentendo una maggiore durata degli stessi, in particolare delle impermeabilizzazioni; garantisce un migliore isolamento acustico della struttura; diminuisce la velocità del vento; assorbe le sostanze nocive presenti in atmosfera – anidride carbonica, zolfo, azoto, anidride solforosa – emettendo ossigeno; filtra le polveri e fissa le sostanze nutritive presenti nell'aria e nelle piogge.

Una delle funzioni principali delle coperture e delle facciate verdi riguarda la regolazione del deflusso delle acque meteoriche: lo strato di vegetazione assorbe temporaneamente l'acqua per cederla lentamente, evitando il sovraccarico delle condotte fognarie.

Non meno importante è il miglioramento della qualità estetica degli edifici e della percezione visiva degli utenti, oltre che la possibilità di creare nuovi linguaggi architettonici

Passando dalla scala del manufatto edilizio a quella urbana i benefici dovuti alla presenza di vegetazione sugli edifici riguardano la riduzione dell'effetto isola di calore, l'aumento del verde nel paesaggio urbano e il recupero delle aree verdi sottratte all'ambiente per la costruzione dell'edificio.



Fig. 26: Tetto verde estensivo



Fig. 27: Tetto verde intensivo

Il tema delle coperture e delle facciate verdi è ben noto ai progettisti del Nord Europa, in particolare di Germania, Svizzera, Austria, Svezia e Olanda, sia in ragione di una particolare attenzione che in questi Paesi viene rivolta ai temi dell'edilizia sostenibile, sia per questioni energetiche legate alla riduzione delle dispersioni di calore in inverno. L'Italia, complici il clima temperato e l'assenza decennale di una politica del territorio incentrata alla sostenibilità, registra un consistente ritardo nel settore e quella dell'inverdimento degli edifici rimane ancora una pratica poco conosciuta.

Negli ultimi anni comunque, grazie soprattutto ad alcune normative nazionali e regionali che prevedono incentivi fiscali per la realizzazione di coperture e facciate verdi, lo sviluppo di tali sistemi ha subito una notevole accelerazione. Si tenga presente che, come già affermato, il verde pensile risulta un efficace strumento di contenimento dei consumi energetici estivi, che nel nostro Paese sono giunti a eguagliare – nelle regioni meridionali a raddoppiare – quelli invernali.

#### 4. Protocolli di certificazione ambientale

La Certificazione di Sostenibilità Ambientale è lo strumento che consente di valutare il processo edificatorio di un manufatto, non soltanto dal punto di vista energetico – si parla, in questo caso, di certificazione energetica –, ma anche da quello riguardante l'impatto della costruzione sull'ambiente e sulla salute umana durante tutto il ciclo vitale dell'edificio. Vi sono diversi protocolli che consentono di ottenere la certificazione ambientale – alcuni dei quali saranno sinteticamente descritti nei successivi paragrafi – utilizzabili per diverse tipologie di edificio. Ferme restando le differenze tra essi, che riguardano i requisiti considerati, i criteri di valutazione e di assegnazione del marchio, si tratta in tutti i casi di sistemi su base volontaria, nei quali la richiesta di certificazione viene presentata dal proprietario dell'edificio o dal committente, interessato a dimostrare la qualità energetico-ambientale del proprio manufatto. La certificazione viene rilasciata da enti indipendenti che effettuano una serie di valutazioni sulla base della documentazione presentata dal richiedente; tale documentazione viene predisposta dal team di progettazione, che può avvalersi o meno di auditori specializzati, seguendo lo schema del protocollo che si intende utilizzare. Per la certificazione delle prestazioni energetiche dell'edificio i protocolli si avvalgono di norme UNI e norme tecniche nazionali o regionali, mentre la performance ambientale viene descritta attraverso

una serie di categorie, tra le quali sostenibilità del sito, gestione delle acque, consumo di risorse, materiali a basso impatto ambientale – valutati ad esempio tramite una LCA – e qualità ambientale interna.

Gli elementi che definiscono un protocollo di certificazione ambientale si possono sintetizzare nel seguente modo:

- organizzazione schematica dei requisiti: vengono definiti i requisiti da considerare (comfort termoisometrico, acustico, gestione dell'energia, ciclo dei materiali, trasporti, spazi esterni, ecc.);
- elaborazione delle metodologie per la valutazione delle performance: per ciascun requisito viene elaborato un criterio di valutazione;
- definizione dei livelli di prestazione di riferimento: una volta valutata la performance di un requisito è necessario associare la valutazione a un punteggio secondo una scala prestazionale;
- definizione del marchio: i punteggi ottenuti dai singoli requisiti concorrono mediamente alla definizione del punteggio complessivo in base al quale viene assegnato un marchio all'edificio.

#### 4.1 Protocollo ITACA

Il Protocollo ITACA è lo strumento di certificazione della sostenibilità energetico-ambientale degli edifici elaborato dall'Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale, dal quale il protocollo prende il nome. ITACA è l'organo tecnico della Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome per la materia degli appalti pubblici, che attraverso il Gruppo di Lavoro Interregionale per la Bioedilizia opera nel settore della sostenibilità energetica e ambientale.

Basato sul sistema di valutazione SBMethod<sup>18</sup> (*Sustainable Building Method*), il protocollo è stato approvato nel 2004 dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e Province Autonome italiane e implementato fino alla creazione del Protocollo ITACA Sintetico nel 2007, successivamente aggiornato nel 2009. Il 21 aprile 2011 il Consiglio Direttivo di ITACA ha approvato il Protocollo ITACA Nazionale 2011, in due versioni dedicate ad edifici residenziali e uffici<sup>19</sup>. Sono presenti, inoltre, alcune versioni regionali del protocollo, tra le quali quelle di Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Toscana, Marche, Lazio, Puglia, Basilicata che trovano applicazione all'interno di bandi, gare d'appalto, programmi di incentivazione e nei Piani Casa; in quest'ultimo caso sono previsti premi finanziari o volumetrici sulla base del livello di sostenibilità energetico-ambientale dell'edificio. Alcune regioni hanno adottato versioni solo in parte derivate dal protocollo ITACA: è il caso dell'Umbria (VSA), del Friuli Venezia Giulia (VEA) e del Veneto (Biover).

Il sistema di valutazione del protocollo ITACA quantifica il livello di sostenibilità di un edificio rispetto alla prassi costruttiva adottata nell'area geografica in cui esso è realizzato. Vengono considerate cinque categorie ambientali:

- A. Qualità del sito;
- B. Consumo di risorse;
- C. Carichi Ambientali;
- D. Qualità ambientale indoor;
- E. Qualità del servizio.

Ciascuna categoria è suddivisa in sub-categorie, all'interno delle quali sono distribuiti i crediti. Per ciascun credito vengono individuati: l'esigenza alla quale si intende rispondere (ad esempio, favorire la scelta di siti da cui sono facilmente accessibili le reti di trasporto pubblico, ridurre il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, mantenere un livello soddisfacente di comfort termico, ecc.), il peso che il criterio assume nella valutazione complessiva, l'indicatore di prestazione e l'unità di misura da utilizzare nel calcolo. Sulla base del metodo di calcolo e degli strumenti di verifica descritti nella scheda di ciascun credito (che si riferiscono a standard, norme tecniche ISO, UNI, CEN, decreti legislativi, ecc.), viene determinato un punteggio variabile da -1 a 5 (0 rappresenta la prestazione standard e 3 la miglior pratica) corrispondente ad uno dei quattro livelli della scala di prestazione: negativo, sufficiente, buono, ottimo. La somma pesata dei singoli punteggi determina il punteggio finale, anch'esso espresso su una scala da -1 a +5 e quindi la prestazione energetico-ambientale dell'edificio.

Come già detto, attualmente il Protocollo ITACA si riferisce soltanto ad edifici residenziali ed uffici, certificabili in fase di progettazione, collaudo ed esercizio. Per la certificazione di edifici commerciali, sco-

lastici, ricettivi e industriali si può utilizzare il sistema SBTool di iiSBE Italia. In entrambi i casi il processo di certificazione prevede le seguenti fasi:

1. invio di richiesta del preventivo a iiSBE Italia con indicazione della destinazione d'uso dell'edificio, la sua superficie lorda, l'ubicazione;
2. al momento dell'accettazione del preventivo fornito da iiSBE Italia e del pagamento della quota di registrazione del progetto, vengono inviati al richiedente lo strumento di valutazione e le Schede di Valutazione
3. compilazione da parte del richiedente delle Schede di Valutazione e loro invio a iiSBE Italia;
4. validazione delle Schede di Valutazione da parte di iiSBE Italia e richiesta di eventuali integrazioni;
5. emissione del certificato Protocollo ITACA o SBTool da parte di iiSBE Italia e ITC-CNR.

Il costo della certificazione dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio e della sua superficie.

## 4.2 Protocollo CasaClima

Il protocollo di certificazione CasaClima nasce nel 2002 nella Provincia Autonoma di Bolzano e viene formalizzato successivamente a livello legislativo con l'integrazione nella legge urbanistica provinciale (L.P. 11 agosto 1997, n. 13, art. 127, comma 8). Con il decreto del Presidente della Provincia n. 34 del 29 settembre 2004 si introducono le categorie minime di fabbisogno energetico per le nuove costruzioni e l'obbligatorietà del certificato CasaClima per l'ottenimento del certificato di abitabilità.

La certificazione energetica e ambientale è effettuata dall'Agenzia CasaClima, ente terzo fondato nel 2006, estraneo alla progettazione e alla realizzazione dell'edificio, che opera tramite una rete di certificatori accreditati non soltanto sul territorio della provincia di Bolzano, ma anche nel resto del Paese, ove la certificazione rimane comunque un atto volontario. Proprio per coprire la richiesta esterna ai confini provinciali, sono state istituite a Firenze e Udine due agenzie distaccate coordinate dalla sede centrale.

La certificazione CasaClima riguarda la prestazione energetica dell'edificio ovvero il suo fabbisogno energetico, in base al quale vengono distinte tre categorie:

- CasaClima Gold: Fabbisogno energetico inferiore di 10 kWh/m<sup>2</sup>anno / Casa da 1 litro<sup>20</sup>;
- CasaClima A: Fabbisogno energetico inferiore di 30 kWh/m<sup>2</sup>anno / Casa da 3 litri;
- CasaClima B: Fabbisogno energetico inferiore di 50 kWh/m<sup>2</sup>anno / Casa da 5 litri.

*“La strategia per una progettazione che recepisca in pieno la filosofia CasaClima prevede dunque di costruire un edificio in cui siano minimizzati i fabbisogni energetici (per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione) e di coprire il fabbisogno energetico residuo con un'impiantistica moderna ed efficiente, che possibilmente impieghi fonti energetiche rinnovabili”<sup>21</sup>.*

La certificazione energetica CasaClima può essere richiesta per tutte le tipologie edilizie, dalle residenze, agli uffici, alle scuole ecc. Il calcolo può essere effettuato su piattaforma on-line tramite il programma ProCasaClima con il supporto di una direttiva tecnica che definisce in modo preciso le modalità di calcolo di superfici e volumi riscaldati, le modalità di risoluzione dei ponti termici strutturali, le prestazioni richieste alle strutture in termini di ermeticità all'aria e di protezione termica estiva, le modalità di calcolo dell'efficienza nel recupero di calore delle macchine di ventilazione e altri parametri.

Oltre alla prestazione energetica dell'edificio è possibile certificare anche quella ambientale attraverso uno strumento introdotto dall'Agenzia CasaClima nel 2010: CasaClima *Nature*. Affinché un edificio ottenga tale riconoscimento è necessario che soddisfi i seguenti requisiti:

- Efficienza per riscaldamento inferiore a 50 kWh/m<sup>2</sup>a;
- Indice di emissione di CO<sub>2</sub> inferiore ai 20kg/m<sup>2</sup>a;
- Materiali da costruzione a basso impatto ambientale, valutato attraverso criteri scientifici oggettivi (LCA);
- Riduzione del consumo di risorse, in particolare acqua e suolo.

L'Agenzia CasaClima, in seguito all'analisi della documentazione di progetto e di calcolo presentata dai

richiedenti, procede alla nomina di un proprio Auditore autorizzato che effettuerà i controlli in cantiere (almeno 2) durante le fasi più significative della costruzione e procederà a stilare un resoconto completo su quanto riscontrato. Al termine della costruzione, nel caso in cui la verifica finale risulti positiva, l'Agenzia CasaClima rilascerà il certificato e la targhetta CasaClima, da esporre al pubblico per comunicare il basso consumo energetico e l'elevata qualità dell'edificio.

### 4.3 Protocollo LEED

Il sistema di certificazione LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) è lo strumento di valutazione della qualità energetico-ambientale di un edificio elaborato dall'USGBC<sup>22</sup> (*United States Green Building Council*) tra il 1998 e il 2000.

Il protocollo è organizzato in cinque categorie ambientali:

- Sostenibilità del Sito (*Sustainable Sites*);
- Gestione delle Acque (*Water Efficiency*);
- Energia e Atmosfera (*Energy and Atmosphere*);
- Materiali e Risorse (*Materials and Resources*);
- Qualità ambientale interna (*Indoor Environmental Quality*).

Ad esse si aggiungono la categoria Innovazione nella progettazione (*Innovation in Design*), che riguarda aspetti innovativi indirizzati alla sostenibilità e la categoria Priorità Regionale (*Regional Priority*), che consente di sottolineare l'importanza delle situazioni locali nel processo progettuale.

L'aspetto fondamentale che caratterizza il sistema di certificazione LEED e ne ha determinato negli ultimi anni il grande successo, è la versatilità: non esiste, infatti, un solo protocollo, ma una serie di protocolli applicabili a differenti tipologie di edificio (nuove costruzioni, scuole, involucri, case, interni, ecc.), accomunati da una struttura simile.

Per ogni categoria sono individuati uno o più Prerequisiti, ovvero aspetti ritenuti di primaria importanza, la cui assenza determina l'impossibilità di ottenere la certificazione LEED; esempi di prerequisiti sono la Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere nella categoria Sostenibilità del Sito o la Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili nella categoria Materiali e Risorse. Accertato il rispetto dei prerequisiti, si può procedere alla valutazione dei Crediti, scelti dalla committenza e dal team di progettazione in funzione del grado di sostenibilità che si intende ottenere; ciascun credito vale almeno 1 punto ed è individuato da un valore intero positivo. In base al punteggio complessivo, ottenuto sommando i punti associati ai crediti soddisfatti, si raggiungono i seguenti livelli di certificazione:

- BASE: da 40 a 49 punti;
- ARGENTO: da 50 a 59 punti;
- ORO: da 60 a 79 punti;
- PLATINO: da 80 punti e oltre.

Tutti i sistemi LEED prevedono 100 punti di base, distribuiti nelle cinque categorie ambientali; le categorie Innovazione nella Progettazione e Priorità Regionale consentono di ottenere un bonus di ulteriori 10 punti.

La certificazione LEED viene rilasciata da un ente di certificazione di parte terza, il GBCI - *Green Building Certification Institute*, il quale verifica, per mezzo di revisori altamente qualificati, tutta la documentazione prodotta dal team di progettazione che deve essere caricata sul portale LEED On-Line. I gruppi di progettazione che intendono raggiungere la certificazione LEED devono utilizzare LEED Online e i relativi moduli per la presentazione di tutta la documentazione inerente i crediti che si intende ottenere. Schematicamente il processo di certificazione LEED prevede le seguenti fasi:

1. Registrazione del progetto sul portale LEED Online versando la quota di registrazione. Al rilascio dell'ID Project viene creato uno spazio sul portale all'interno del quale è possibile caricare tutta la documentazione necessaria a verificare l'ottenibilità dei crediti;
2. *Design Review*: al termine della progettazione esecutiva è possibile sottomettere al GBCI tutta la documentazione per ricevere una validazione preventiva dei crediti di progettazione (che rappresentano il 75% del totale), pagando una *fee* di revisione; i crediti riconosciuti in questa fase sono

- automaticamente assegnati alla fine del processo di certificazione;
3. *Construction Review*: in seguito al completamento della costruzione e al raggiungimento di un livello di occupazione di almeno il 75% del fabbricato si può richiedere la revisione finale, sottomettendo anche i crediti di costruzione (25%). Il GBCI rilascia per ogni credito sottomesso o un parere di validazione preventiva, o un parere di sospensione e richiesta di integrazioni, o un parere negativo. In caso di pareri negativi è facoltà del Direttore dei Lavori richiedere una revisione supplementare (appello) pagando una *fee* integrativa.

#### 4.3.1 Protocollo LEED Italia NC

Nel 2008 viene fondato il GBC Italia, su iniziativa del Distretto Tecnologico Trentino S.c.a.r.l. insieme a 47 soci fondatori. Dalla provincia trentina, nota per le sue innovative politiche ambientali, il GBC Italia si estende nel territorio nazionale, arrivando a contare nel 2011 oltre 500 soci, tra i quali enti pubblici e privati, università, studi professionali e imprese che operano lungo tutta la filiera dell'edilizia.

La fervente attività di adattamento dei sistemi di certificazione LEED alla realtà italiana, condotta dai gruppi di sezione del Comitato LEED e dal Comitato Tecnico Scientifico, ha portato alla pubblicazione nel 2009 di LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni; il protocollo, rivolto alle nuove costruzioni, rappresenta la trasposizione dello standard statunitense secondo le normative italiane ed europee e costituisce il primo caso di "localizzazione" approvata da USGBC poiché fortemente legato alla realtà costruttiva, normativa e produttiva italiana.

L'impegno attuale del GBC Italia è la pubblicazione di GBC Home, un protocollo dedicato al settore residenziale derivato dal LEED FOR HOMES di USGBC, ma adattato al modello costruttivo e alle caratteristiche abitative della realtà italiana.

#### 4.4 Protocollo BREEAM

Il protocollo BREEAM (Building Research Establishment Environment Assessment Method) nato nel 1990 in Gran Bretagna è considerato il capostipite dei metodi di certificazione ambientale degli edifici.

Si tratta di un sistema su base volontaria nato per il settore terziario e successivamente esteso a tutte le tipologie di edificio, di nuova costruzione o esistenti: scuole, abitazioni, strutture sanitarie, industriali, edifici commerciali, ecc.

Le categorie ambientali prese in considerazione sono:

- Gestione;
- Salute e benessere;
- Energia;
- Trasporti;
- Sistemi idrici;
- Materiali;
- Rifiuti;
- Utilizzo del suolo ed ecologia;
- Inquinamento;
- Innovazione.

Gli edifici vengono valutati sia al termine della progettazione che della costruzione, con i medesimi criteri, in base ai quali è attribuito il punteggio finale. Le classificazioni ottenibili vanno dalla "Pass" che rappresenta il livello base, all'"Excellent" che individua la massima prestazione ambientale.

La valutazione è effettuata da un soggetto accreditato dal BRE che, in caso di esito positivo, rilascia il certificato.

## PARTE SECONDA

### 1. Il recupero ecosostenibile

Dall'indagine Istat *“L’abitazione delle famiglie residenti in Italia”*<sup>25</sup> pubblicata nel 2010 risulta che nel nostro Paese circa il 68,5% delle famiglie vive in abitazioni di proprietà, il 18,9% è in affitto, mentre il 12,6% dispone di un’abitazione in usufrutto o a titolo gratuito. Tali dati indicano che la percentuale degli immobili di proprietà dei cittadini italiani è superiore alla media europea, a testimonianza del fatto che la casa è considerata un bene primario, un investimento economico e sociale poiché con essa si consolida l’unità del nucleo familiare.

La stessa indagine pone anche l’attenzione sulla qualità di queste abitazioni, nelle citate condizioni d’utilizzo. Oltre il 75% della popolazione italiana vive in immobili realizzati prima del 1990, mentre il 17% in edifici antecedenti al 1950.

*“Le abitazioni più recenti, costruite dal 1990 al 2008, sono maggiormente frequenti nei comuni delle periferie metropolitane (18,5%) e nei comuni al di sotto dei 50.000 abitanti (18,3%). Ciò mostra, da un lato, come la pressione demografica abbia trovato risposta nelle aree urbanisticamente meno sature del territorio e, dall’altro, come i centri delle aree metropolitane e i comuni di maggiori dimensioni non abbiano conosciuto un significativo rinnovamento del proprio patrimonio immobiliare”*<sup>26</sup>.

Analizzando lo stato di conservazione degli edifici realizzati prima del 1990 (e in alcuni casi, purtroppo, anche di quelli successivi a tale anno) si riscontrano deficienze importanti, come strutture danneggiate, umidità nei muri, nei pavimenti, nelle fondamenta, scarsa luminosità; tutto ciò soprattutto nelle regioni meridionali.

Se oltre al degrado degli immobili italiani, si considera anche la loro efficienza energetica, ne risulta un quadro ancora più preoccupante: circa il 70% degli edifici è stato realizzato prima di qualsiasi normativa sul contenimento dei consumi energetici – ovvero prima della legge 373/1976 – e presenta gravi problemi di isolamento termico<sup>27</sup>.

A tale proposito si consideri che nel Bilancio energetico pubblicato nel 2010 dal Ministero dello sviluppo economico e riferito al 2009, i consumi energetici nel settore civile incidono per il 37,98% sul consumo nazionale, assorbendo circa 46 Mtep<sup>28</sup> – su un totale di 122 Mtep – dei quali 18,6 Mtep impiegati per il riscaldamento degli ambienti, a testimonianza della scarsa qualità energetica del patrimonio edilizio esistente.

Negli ultimi anni, inoltre, complice l’innalzamento delle temperature dovuto all’effetto “isola di calore” nelle grandi città, si registra un notevole aumento dei consumi energetici per la climatizzazione estiva anche nelle regioni centro-settentrionali del Paese.

Estendendo l’analisi anche al settore degli edifici pubblici, lo scenario peggiora notevolmente poiché la maggior parte delle scuole, degli ospedali e degli edifici direzionali risale agli anni ‘70 ed è caratterizzata da una scarsa qualità edilizia e da pessime prestazioni energetiche .

Tutto questo si traduce dal punto di vista ambientale in emissioni di CO<sub>2</sub> per le quali l’Italia detiene un triste primato tra gli Stati dell’UE con una percentuale del 17,5% sul totale europeo.

L’analisi dei dati sopra riportati, insieme alla constatazione che il settore delle costruzioni permane in una situazione di forte crisi, per cui la percentuale di nuovi edifici sarà assai ridotta nei prossimi anni, porta a ritenere che la futura sfida del comparto edilizio italiano riguarda il recupero del patrimonio immobiliare esistente. Tanto più che la Direttiva Europea 2010/31/CE impone agli Stati Membri che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia “quasi zero”, ovvero con un fabbisogno energetico quasi nullo; la stessa prescrizione vale per gli edifici di nuova costruzione di proprietà e/o occupati da enti pubblici con una scadenza ancora più imminente fissata al 31 dicembre 2018.

Si tratta, dunque, di un ambito di grande interesse, non soltanto dal punto di vista tecnico, ma anche soprattutto da quello economico e sociale. Il mercato degli interventi sullo stock edilizio esistente, infatti, può rappresentare un’opportunità di rilancio economico del nostro Paese, oltre che un bacino per la creazione di nuovi posti di lavoro.

Focalizzando l’attenzione alla dimensione della sostenibilità ambientale, il recupero del patrimonio edilizio esistente comporta una serie di interventi che vanno dal miglioramento dell’efficienza energetica dell’edificio – con conseguente riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> –, attraverso l’adeguamento dell’involucro esterno e la sostituzione degli impianti, all’introduzione di fonti di energia rinnovabili, al miglioramento

delle condizioni di comfort e di salubrità dell'ambiente costruito tramite l'impiego di componenti e materiali ecocompatibili, alla riprogettazione degli spazi esterni. Alla sostenibilità del recupero concorrono, dunque, diversi fattori che richiedono l'integrazione tra competenze specifiche: architetti, ingegneri strutturisti, impiantisti, restauratori, *energy manager*. Il risultato deve andare ben oltre la semplice assegnazione di una classe energetica, come spesso accade in un'ottica puramente commerciale, e tendere tanto al miglioramento del contesto ambientale e architettonico dell'edificio, quanto a garantire il benessere e la sicurezza richiesti dagli utenti e dalla normativa.

### 1.1 Interventi sull'edificio esistente

In un intervento di recupero ecosostenibile di un edificio i principali deficit coinvolgono essenzialmente quattro aspetti:

- tecnico-costruttivo: degrado delle facciate, degli infissi esterni e delle coperture;
- termico: elevato consumo energetico per il riscaldamento/condizionamento degli ambienti interni;
- impiantistico: inefficienza delle reti dovuta ad una errata installazione e/o alla lunga durata d'esercizio, mancato rispetto delle norme;
- tipologico-spaziale: errata disposizione degli ambienti in relazione all'orientamento solare dell'edificio, sottodimensionamento degli spazi, assenza di aree verdi, ecc.

I primi due aspetti si riferiscono a due caratteristiche del medesimo componente: l'involucro edilizio. Nei casi in cui si voglia curare la qualità estetica si può procedere ad un'operazione di restauro delle facciate, attraverso il rifacimento dell'intonaco, la ritinteggiatura delle superfici, l'eventuale sostituzione degli infissi, delle ringhiere e delle opere di lattoneria. Si tratta del primo livello dell'intervento di recupero, che può risultare sufficiente nei casi in cui la buona prestazione energetica dell'edificio e il comfort degli ambienti interni siano garantiti. Ad ogni modo, anche per queste semplici operazioni è opportuno effettuare una progettazione specifica, avendo cura di conservare i caratteri originari delle facciate, soprattutto in relazione agli edifici adiacenti, e scegliendo materiali di finitura e componenti a basso impatto ambientale.

Quando l'edificio da recuperare presenta un particolare valore storico e architettonico – magari alterato da interventi quali ampliamenti, modifiche delle aperture, chiusura di logge e balconi, ecc. – l'operazione di rifacimento delle facciate può essere condotta facendo riferimento, ad esempio, al materiale presente negli archivi comunali – fotografie, cartoline, elaborati tecnici e disegni – tramite il quale si possono comprendere i caratteri originari dell'edificio e ipotizzare una loro riproposizione. In questo caso può essere necessario il supporto di specifiche professionalità del settore.



Fig. 28: Restauro della facciata di una villa d'epoca: a), b) prima e dopo il restauro; c) dettaglio del graffito ricostruito<sup>29</sup>



Fig. 29: Restauro della facciata di una palazzina di edilizia economico-popolare: a), b) prima e dopo il restauro<sup>30</sup>

Se l'intervento sull'involucro è finalizzato a migliorare anche le prestazioni energetiche – oltre che acustiche – dell'edificio si deve intervenire in maniera maggiormente invasiva, agendo su tre principali componenti: murature di tamponamento, infissi esterni e coperture.

Per quanto riguarda le murature l'intervento di recupero può prevedere: la sostituzione integrale del pacchetto murario esistente con uno di migliori proprietà termoisolanti (trasmissione e conducibilità termica, capacità termica, caratteristiche di assorbimento e riflessione della radiazione solare); l'applicazione di un rivestimento isolante sulla parte esterna delle pareti dell'edificio – il cosiddetto “cappotto esterno” – in modo da correggere i ponti termici<sup>31</sup> e ridurre gli effetti indotti nelle strutture e nei paramenti murari dalle variazioni rapide o notevoli della temperatura esterna; la realizzazione di nuove strutture in adiacenza a quelle esistenti, come nel caso delle facciate ventilate.



Fig. 30: Applicazione dell'isolamento a “cappotto”



Fig. 31: Schema di funzionamento e realizzazione di una facciata ventilata

Gli infissi e le superfici trasparenti rappresentano probabilmente i componenti per i quali è possibile effettuare la più vasta scelta nell'ambito di un recupero edilizio. L'impressionante sviluppo tecnico che questo settore ha avuto negli ultimi anni mette a disposizione del progettista componenti finestrati (in-fisso più superficie trasparente) spesso assai complessi, multistrato, che consentono il preriscaldamento solare, la ventilazione, l'ombreggiamento, la riflessione della luce e l'abbattimento delle onde sonore.

Quando il recupero dell'edificio prevede il rifacimento della copertura vi è la possibilità di realizzare un tetto ventilato; quest'ultimo consente un notevole risparmio energetico e il recupero dei sottotetti che possono divenire abitabili. Durante la stagione calda l'aria fresca che arriva dalla linea di gronda si riscalda per effetto dell'irraggiamento solare e sale verso il colmo dal quale fuoriesce sottraendo calore alla copertura ed evitando, in tal modo, che lo stesso si trasmetta agli ambienti sottostanti. In inverno l'aria presente nella camera di ventilazione funge da cuscinetto isolante evitando che il calore proveniente dagli ambienti interni si disperda attraverso la copertura ed ostacola, inoltre, la formazione di condensa nella struttura del tetto, con conseguenti fenomeni di umidità, muffa e gocciolamenti.



Fig. 32: Tetto ventilato rivestito con tegole



Fig. 33: Tetto ventilato in legno

Un aspetto connesso all'intervento sull'involucro edilizio ma che coinvolge anche la progettazione impiantistica riguarda lo sfruttamento dell'energia solare attraverso l'integrazione di sistemi a guadagno diretto, tra i quali collettori solari, pannelli fotovoltaici e serre. Si tratta di sistemi che agiscono sia dal punto di vista energetico, incrementando la performance termica dell'edificio, sia da quello architettonico poiché vengono integrati su tetti, balconi e logge o nella facciata.

I collettori solari possono essere impiegati per preriscaldare l'acqua calda sanitaria, utilizzata per uso domestico o nell'impianto di riscaldamento (collettori solari ad acqua), e l'aria di ventilazione immessa negli ambienti (collettori solari ad aria).

In un intervento di recupero edilizio che preveda la sostituzione del materiale di copertura o la ricostruzione della stessa, i collettori possono costituire parte del nuovo rivestimento; in tal modo, il costo sostenuto per l'installazione dei collettori viene parzialmente bilanciato dalla mancata spesa relativa al rivestimento della superficie da essi occupata.

Le stesse considerazioni valgono nel caso di installazione dei pannelli fotovoltaici, che consentono di convertire la radiazione solare in energia elettrica. Si tratta di una tecnologia ormai matura che diviene sempre più competitiva sul piano economico poiché i costi di installazione dei pannelli stanno progressivamente diminuendo e gli strumenti normativi prevedono incentivi economici per l'utilizzo di tale tecnologia – si veda, a tale proposito, la serie dei “Conti Energia” emanata dal Ministero dello Sviluppo Economico a partire dal 2005.

Nell'ambito del recupero edilizio i moduli fotovoltaici possono essere impiegati per il rifacimento di coperture e facciate, allorché sia necessaria una sostituzione totale dei componenti preesistenti, o semplicemente integrati nelle strutture già presenti per migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio e restituire allo stesso un nuovo aspetto architettonico.



Fig. 34: Collettori solari termici integrati nel manto di copertura



Fig. 35: Pannelli fotovoltaici integrati nel manto di copertura

Un altro sistema di captazione della radiazione solare, che può ridurre il consumo di energia per il riscaldamento degli ambienti, è la serra. Con tale termine si intende uno spazio racchiuso tra due superfici vetrate, esposto a sud – sud-est, sud-ovest – nel quale l'energia solare viene catturata e trasformata in calore, successivamente immesso negli ambienti interni.

La serra può essere integrata nella facciata dell'edificio secondo due modalità, ovvero può essere sporgente (addossata) o complanare con la superficie della parete esterna (incassata). Entrambe le tipologie sono applicabili in un intervento di recupero edilizio: nel primo caso è necessario realizzare una nuova struttura in adiacenza alla facciata esistente; nel secondo caso è sufficiente chiudere con una partizione vetrata lo spazio aperto del balcone o del portico.

Per garantire il funzionamento ottimale del sistema è necessario verificare la tenuta degli infissi, utilizzare vetri basso emissivi e prevedere l'apertura dei vetri durante la stagione estiva e l'ombreggiatura della serra per annullare l'effetto di surriscaldamento dell'aria.



Fig. 36: Serra solare addossata

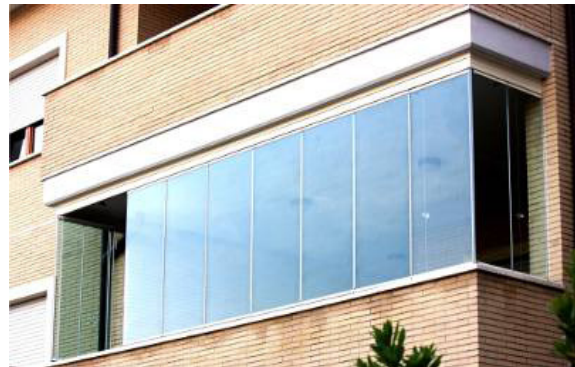


Fig. 37: Serra solare incassata

Anche per ridurre il problema del condizionamento degli ambienti interni durante la stagione estiva – che incide sui consumi energetici in misura paragonabile a quello del riscaldamento invernale – si può ricorrere a componenti applicabili all'involucro dell'edificio: si tratta dei sistemi di schermatura solare che consentono l'ombreggiamento delle superfici esterne e dunque evitando il surriscaldamento delle stesse e la conseguente trasmissione del calore agli spazi interni. Queste soluzioni incidono in maniera rilevante anche sull'immagine architettonica dell'edificio e possono rappresentare, in tal senso, una valida opportunità di recupero delle facciate.

Un sistema di schermatura solare deve essere scelto in base al clima, al tipo di edificio, alla destinazione d'uso e ai costi di costruzione, favorendo strutture che consentano di intercettare la radiazione solare prima che colpisce l'involucro dell'edificio. Un sistema di schermatura efficace, inoltre, deve bloccare i raggi del sole, ma consentire la vista dell'esterno e il passaggio delle correnti d'aria.

L'orientamento delle schermature dipende dall'altezza del sole nel cielo e quindi dall'angolo di incidenza dei raggi solari; in tal senso nelle facciate sposte a sud è preferibile installare un sistema di schermatura orizzontale per bloccare i raggi provenienti dal sole che è alto nel cielo durante la stagione estiva; nella facciate est ed ovest l'orientamento verticale consente di intercettare i raggi di incidenza del sole che sono bassi al mattino e al pomeriggio.

Una classificazione fondamentale tra i sistemi di schermatura riguarda la loro dinamicità; in tal senso si distinguono:

- schermature fisse: balconi e altri aggetti, tendoni, scuri e schermi;
- schermature mobili: tapparelle, frangisole a lamelle rotanti, tende alla veneziana; tali sistemi si adattano meglio alle condizioni climatiche esterne consentendo di massimizzare gli apporti solari in inverni e di minimizzarli in estate.

Recentemente sono comparsi sul mercato dei componenti edili anche sistemi di schermatura solare che integrano nella loro struttura i moduli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Tra le strategie di raffrescamento passivo degli ambienti rientra anche la ventilazione naturale, che dipende dal posizionamento e dalla dimensione delle aperture. Essa influisce, inoltre, sul comfort termico-giometrico degli spazi interni, regolando il tasso di umidità attraverso l'evaporazione. Si distinguono due

tipi principali di ventilazione naturale:

- ventilazione incrociata: si ottiene posizionando le aperture su due pareti contrapposte per favorire il movimento dei flussi d'aria;
- effetto camino: attraverso aperture collocate nella zona alta degli ambienti l'aria calda fuoriesce per effetto della sua minore densità.

In un intervento di recupero edilizio il raffrescamento passivo dell'edificio attraverso la ventilazione naturale può essere ottenuto ampliando le dimensioni delle aperture e riprogettando, laddove possibile, la posizione delle pareti interne per "guidare" le correnti d'aria. Una progettazione efficace richiede, inoltre, uno studio dei dati relativi ai venti prevalenti che insistono sull'area circostante all'edificio, per individuarne la direzione di provenienza, la velocità e la frequenza.

Per garantire il benessere psico-fisico degli utenti di un edificio, oltre ai parametri di temperatura ed umidità, è fondamentale controllare anche il grado di illuminazione degli ambienti, in particolare quello dell'illuminazione naturale. "L'illuminazione diurna, con le sue variazioni di colore e di intensità nel corso della giornata e dell'anno consente un percezione del passare del tempo, riportando le sensazioni delle persone ad un'attenzione per i ritmi naturali. [...] L'impiego delle tecniche più avanzate di illuminazione naturale permette di dosare la giusta quantità di luce orientandola in modo uniforme ed eliminando alcuni aspetti negativi come l'abbagliamento o il calore dovuto al surriscaldamento"<sup>32</sup>.

Nella ristrutturazione di un edificio, non potendo agire sulla sua forma e sul suo orientamento, si può intervenire sulla posizione, sul numero e sulla dimensione delle aperture, sulla distribuzione delle pareti interne, che ostacolano la diffusione della luce naturale, sulla ruvidezza e il colore delle finiture – intonaci e pitture – che influiscono sulla riflessione dei raggi luminosi; una superficie liscia e chiara, ad esempio, favorisce una distribuzione più uniforme della luce.

## Note

<sup>1</sup> La versione italiana della direttiva 2009/28/CE è disponibile sul sito della Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea all'indirizzo web [eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)

<sup>2</sup> Dati riferiti al 2008 riportati nel "Europe's energy position. Annual report 2010" elaborato dal Market Observatory for Energy della Commissione Europea. Il documento in formato pdf è scaricabile all'indirizzo web [ec.europa.eu/energy/observatory](http://ec.europa.eu/energy/observatory) nella sezione Annual reports.

<sup>3</sup> Dati contenuti nel report "Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27" elaborato nel 2011 dall'Agenzia Austriaca per l'Ambiente su richiesta della Commissione Europea. Il documento in formato pdf è scaricabile all'indirizzo web [ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm](http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm)

<sup>4</sup> La definizione del termine "Bioarchitettura" fornita da Ugo Sasso nel 1987 è tratta dal sito dell'Istituto Nazionale di Bioarchitettura consultabile all'indirizzo web [www.bioarchitettura.it](http://www.bioarchitettura.it)

<sup>5</sup> In fisica tecnica con il termine "ricambio d'aria" si intende un tasso di ricambio, ovvero il rapporto tra il volume di aria ricambiato in un'ora e il volume totale dell'ambiente servito; l'unità di misura del ricambio d'aria è  $\text{m}^3/\text{m}^3\text{h} = \text{h}^{-1}$ . Ad esempio un ricambio d'aria di  $0,5 \text{ h}^{-1}$  indica che in un'ora viene ricambiata metà del volume dell'ambiente. Per determinare il ricambio d'aria di un'abitazione si consideri che una persona necessita di circa  $32 \text{ m}^3$  di aria fresca all'ora; se nell'abitazione sono presenti 4 persone il fabbisogno di aria fresca è quindi di  $128 \text{ m}^3/\text{h}$ ; se si ipotizza un ambiente di  $120 \text{ m}^2$  con un'altezza di interpiano di  $2,70 \text{ m}$ , il volume dell'abitazione risulta di  $324 \text{ m}^3$ ; per fornire i  $128 \text{ m}^3/\text{h}$  è dunque necessario un ricambio d'aria di  $324/128 = 0,4 \text{ h}^{-1}$ .

<sup>6</sup> L'"isola di calore" è il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali. Il maggior accumulo di calore è determinato da una serie di concause, in interazione tra loro, tra le quali sono da annoverare la diffusa cementificazione, le superfici asfaltate che prevalgono nettamente rispetto alle aree verdi, le emissioni degli autoveicoli, degli impianti industriali e dei sistemi di riscaldamento e di aria condizionata ad uso domestico. Al contempo, le mura perimetrali degli edifici cittadini impediscono al vento di soffiare con la medesima intensità che viene registrata nelle aree aperte fuori della città: gli effetti eolici possono essere inferiori fino al 30% rispetto alle aree rurali limitrofe, limitando così il ricircolo di aria al suolo e il relativo effetto refrigerante durante la stagione estiva. Nelle zone urbane, inoltre, il rapporto tra superfici orizzontali e superfici verticali è più basso, ciò inibisce la dispersione di calore tramite irraggiamento ([it.wikipedia.org](http://it.wikipedia.org)).

<sup>7</sup> Dati estrapolati dal documento "Giornata Mondiale dell'Acqua. Le Statistiche dell'Istat" pubblicato dall'ISTAT in occasione della Giornata Mondiale dell'Acqua celebrata il 22 marzo 2011; il documento in formato pdf è scaricabile all'indirizzo web [www3.istat.it/salastampa/comunicati/non\\_calendario/20110321\\_00/](http://www3.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20110321_00/)

<sup>8</sup> Un approfondimento sintetico sul tema del consumo della risorsa idrica in Italia è disponibile sul sito web dell'Osservatorio Kyoto ([www.osservatorio-kyoto.it](http://www.osservatorio-kyoto.it)).

[osservatoriokyoto.it](http://osservatoriokyoto.it)) nella sezione *Newsletter* alla voce "Acqua". Il documento è scaricabile in formato pdf.

<sup>9</sup> Il Centro Ricerche Bologna dell'ENEA ha avviato nel 1997 il PROGETTO AQUASAVE, uno studio finanziato per il 50% dalla Commissione Europea nell'ambito delle azioni del *Life-Environment Programme*, finalizzato alla valutazione delle potenzialità di risparmio dell'acqua potabile nelle abitazioni attraverso un modello sperimentale di gestione delle risorse idriche installato nel Comune di Bologna. I principali aspetti del modello riguardano il riuso dell'acqua piovana, dell'acqua grigia, l'uso di componenti a basso consumo e la riduzione degli sprechi. I dettagli sul modello sperimentale utilizzato e sui risultati del progetto, concluso nel 2001, sono disponibili all'indirizzo web [www.bologna.enea.it/ambtd/aquasave-doc/aquas-ita.htm](http://www.bologna.enea.it/ambtd/aquasave-doc/aquas-ita.htm).

<sup>10</sup> Setac, 1991.

<sup>11</sup> La definizione dei confini del sistema analizzato può essere una fase complessa. A tale proposito, il Comitato Europeo di Standardizzazione (CEN) ha istituito il Comitato Tecnico "Sostenibilità dei prodotti da costruzione" (CEN/TC 350), che ha sviluppato diversi standard per la valutazione della sostenibilità di edifici e prodotti da costruzione. In particolare lo standard EN 15978 ("*Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*") riguarda le prestazioni ambientali degli edifici e definisce i confini del sistema che devono essere considerati in una LCA.

<sup>12</sup> ISO 14041:1999.

<sup>13</sup> Per approfondimenti sull'etichetta *Ecolabel* è possibile consultare il sito della Commissione Europea all'indirizzo [www.ec.europa.eu/environment/ecolabel/](http://www.ec.europa.eu/environment/ecolabel/).

<sup>14</sup> Fonte [it.wikipedia.org/wiki/Dichiarazione\\_ambientale\\_dei\\_prodotto\\_da\\_costruzione](http://it.wikipedia.org/wiki/Dichiarazione_ambientale_dei_prodotto_da_costruzione)

<sup>15</sup> Per essere certificabile le prestazioni ambientali del prodotto, descritte nella EPD, devono rispettare i criteri e i requisiti stabiliti all'interno di un documento chiamato PCR (*Product Category Rules*). Qualora un'Organizzazione intendesse certificare uno dei suoi prodotti, può consultare la lista delle PRC disponibili sul sito del International EDP System; se per il prodotto in questione non è ancora disponibile una PRC, l'azienda interessata alla convalida deve impegnarsi a sviluppare tale documento e sottoporlo alla consultazione tramite l'apposito Forum. In questo modo è possibile convalidare fin da subito la EPD grazie alla pre-certificazione, che si tramuterà in una certificazione a tutti gli effetti nel momento in cui si sarà conclusa la definizione delle PCR (fonte [web.csqa.it/certificazioni](http://web.csqa.it/certificazioni)). L'iter di certificazione può comprendere le seguenti fasi: formulazione di un'offerta economica, stipula di un contratto di certificazione, invio da parte dell'Organizzazione della documentazione richiesta, analisi della documentazione, rilascio del certificato da parte dell'ente certificatore e uso del logo EPD.

<sup>16</sup> Questa definizione di massa superficiale è contenuta nell'Allegato A del D.Lgs. 192/2005 e del successivo D.Lgs. 306/2011.

<sup>17</sup> D. Lgs. 192/2005, Allegato I, Art. 11 comma b.

<sup>18</sup> L'SBMethod è il sistema di valutazione della qualità energetico- ambientale di un edificio elaborato dal GBC (*Green Building Challenge*). Adottato da oltre 20 Paesi tra i quali Spagna, Portogallo, Repubblica Ceca, Austria e Giappone, il sistema è stato introdotto in Italia nel 2000 con la creazione di SBTool It, dal quale deriva il Protocollo ITACA. La metodologia SBMethod è gestita e aggiornata a livello internazionale da iisBE (*international initiative for a Sustainable Built Environment*) e, a livello nazionale, da iisBE Italia che, con il supporto di ITC-CNR, cura la predisposizione di strumenti operativi contestualizzati. Per approfondimenti si veda [www.iisbeitalia.org](http://www.iisbeitalia.org).

<sup>19</sup> Le precedenti versioni del protocollo emesse nel 2007 (Protocollo ITACA Sintetico) e nel 2009 (Aggiornamento del Protocollo ITACA) si riferivano soltanto ad edifici residenziali. Il Protocollo ITACA Uffici 2011 rappresenta la risposta alla Direttiva comunitaria 2010/31/CE che prevede per il 2020 edifici pubblici a consumo quasi "zero". Ad esso si aggiungeranno a breve, su richiesta del Consiglio Direttivo ITACA, strumenti di valutazione per scuole, aree industriali ed edifici commerciali.

<sup>20</sup> Con tale dicitura si intende che l'edificio necessita di 1 litro di gasolio (o 1 m<sup>3</sup> di gas) per riscaldare per un anno una superficie di 1 mq.

<sup>21</sup> Fonte [www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it).

<sup>22</sup> L'USGBC è uno dei soci fondatori del WorldGBC, una rete di Green Building Councils nata nel 1999 dalla collaborazione tra Stati Uniti, Giappone, Australia e Spagna che attualmente si estende in oltre 80 Paesi; i GBCs collaborano con le autorità governative e il settore industriale per promuovere una trasformazione delle costruzioni indirizzata alla sostenibilità.

<sup>23</sup> [www.gbci.org](http://www.gbci.org)

<sup>24</sup> [www.leedonline.com](http://www.leedonline.com)

<sup>25</sup> Il documento pubblicato il 26 febbraio 2010 è disponibile in formato pdf sul sito web dell'ISTAT all'indirizzo [www3.istat.it/salastampa/comunicati/non\\_calendario/20100226\\_00](http://www3.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20100226_00).

<sup>26</sup> Cfr. "*L'abitazione delle famiglie residenti in Italia*", p. 4.

<sup>27</sup> A tale proposito si veda il rapporto di Legambiente "*Tutti in classe A*" sulle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio italiano. Il documento è scaricabile in formato pdf all'indirizzo [www.legambiente.it/contenuti/dossier/tutti-classe-A](http://www.legambiente.it/contenuti/dossier/tutti-classe-A).

<sup>28</sup> Il Tep o Toe (Tonnellata equivalente di petrolio) è un'unità di misura dell'energia. Un Tep indica la quantità di energia rilasciata dalla combustione di 1 tonnellata di petrolio grezzo. L'IEA/OCSE definisce il TEP come equivalente a 41,868 GJ o 11,630 MWh. Un Mtep è pari ad 1 milione di Tep.

<sup>29</sup> Le immagini sono tratte dal sito web dell'impresa PaolaVilla Restauri ([www.paolavillarestauri.it](http://www.paolavillarestauri.it)) che opera nel settore della conservazione e del restauro delle superfici decorate e dei beni mobili d'interesse storico artistico.

<sup>30</sup> Le immagini sono tratte dal sito web [www.newdecorsnc.com](http://www.newdecorsnc.com)

<sup>31</sup> Con il termine "ponte termico" si intende una discontinuità costruttiva nello strato di isolamento di un edificio. Essa può dipendere dalla presenza di materiali eterogenei nell'organismo edilizio (ad esempio mattoni con buone proprietà isolanti per le tamponature e struttura in calcestruzzo armato che è, invece, un materiale conduttore) o da caratteristiche geometriche dell'edificio, come la presenza di spigoli all'inne-

sto tra parete e parete, tra parete e solaio, tra parete e serramenti, ecc.). In corrispondenza di un ponte termico si verifica uno scambio di calore verso l'esterno e dunque l'efficacia del sistema di isolamento risulta ridotta.

<sup>32</sup> Cfr. P. GALLO, *Recupero bioclimatico edilizio e urbano. Strumenti, tecniche e casi studio (II ed.)*, Sistemi Editoriali, Esselibri, Napoli, 2010, p. 144.

## Bibliografia essenziale

- P. GALLO, *Recupero bioclimatico edilizio e urbano. Strumenti, tecniche e casi studio (II ed.)*, Sistemi Editoriali, Esselibri, Napoli, 2010.
- L. MALIGHETTI, *Recupero edilizio e sostenibilità*, Il Sole 24 ore, Milano, 2004.
- S. BRUNO, *Manuale di bioarchitettura. Bioedilizia e fonti alternative di energia rinnovabile*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009.
- R. GIORDANO, *I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Sistemi Editoriali, Esselibri, Napoli, 2010.
- G. DALL'Ò, *Green Building Economy. Primo rapporto su edilizia, efficienza e rinnovabili in Italia*, Edizioni Ambiente, Milano, 2011.

## Sitografia

- [www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it)
- [www.autorita.energia.it](http://www.autorita.energia.it)
- [www.bioarchitettura.it](http://www.bioarchitettura.it)
- [www.breeam.org](http://www.breeam.org)
- [ec.europa.eu/environment/ecolabel/](http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/)
- [www.enea.it](http://www.enea.it)
- [www.environdec.com](http://www.environdec.com)
- [www.fsc.org](http://www.fsc.org) ([www.fsc-italia.it/](http://www.fsc-italia.it/))
- [www.istat.it](http://www.istat.it)
- [www.itaca.org](http://www.itaca.org)
- [www.legambiente.it](http://www.legambiente.it)
- [www.osservatoriokyoto.it](http://www.osservatoriokyoto.it)
- [www.pefc.org](http://www.pefc.org) ([www.pefc.it](http://www.pefc.it))
- [www.terna.it](http://www.terna.it)
- [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org) ([www.gbitalia.org](http://www.gbitalia.org))