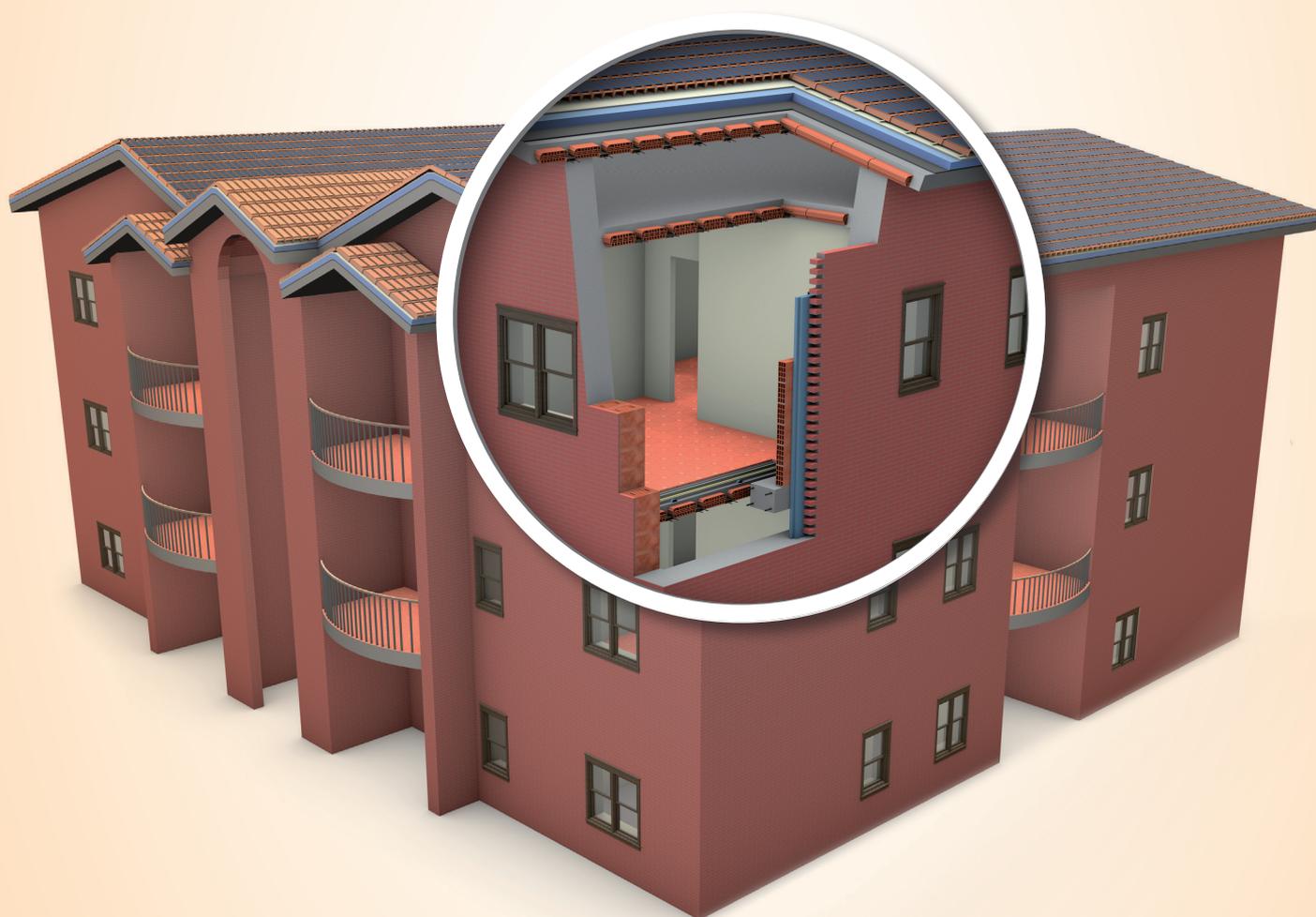


# I laterizi: risparmio energetico, sostenibilità e salubrità

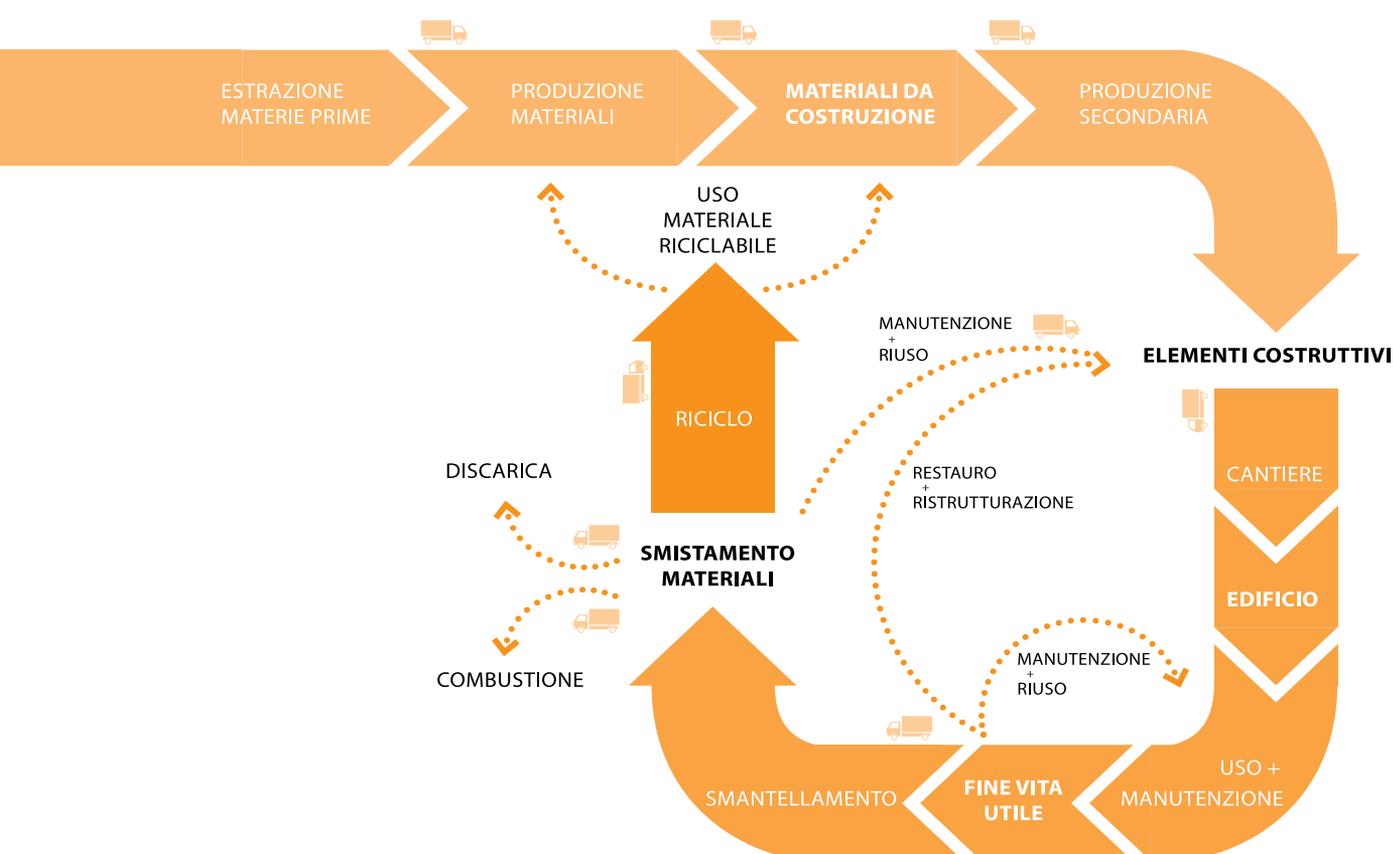
GUIDA PER GLI OPERATORI E I TECNICI DI CANTIERE





# I laterizi: risparmio energetico, sostenibilità e salubrità

GUIDA PER GLI OPERATORI E I TECNICI DI CANTIERE



# AGGIORNAMENTO DELLE COMPETENZE PER L'INNOVAZIONE, L'INTERNAZIONALIZZAZIONE E LA RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA



Promosso da:



Avviso 5/2013 finanziato da:



Il Piano AGIRE, finanziato da Fondimpresa nell'ambito dell'avviso 5/2013, prende avvio dal rinnovato focus sui temi delle ristrutturazioni edilizie in Italia, con particolare attenzione all'efficiamento energetico e alle potenzialità derivanti dall'internalizzazione dell'offerta italiana, che si contraddistingue per l'expertise tecnica e la disponibilità delle soluzioni tecnologicamente avanzate e apprezzate quali elementi di eccellenza. Ad oggi il tessuto produttivo di settore è impegnato nell'aggiornamento delle competenze tecniche per supportare efficacemente l'incremento di quelle "green skills" difficilmente reperibili sul mercato, che invece rappresentano un elemento fondamentale rispetto alla capacità competitiva del sistema edile italiano, spinto sempre più a spaziare entro uno scenario internazionale di mercato dove incontra competitor con esperienze già tarate sulle principali strategie europee e internazionali dell'eco-innovazione e della Green Building Economy. Il Piano AGIRE agisce su due livelli di formazione: il primo direttamente rivolto alle aziende firmatarie del CCNL Edile che operano nei processi di progettazione, realizzazione e manutenzione di lavori edili, il secondo diretto ai formatori che intervengono nel sistema delle Scuole Edili provinciali, al fine di ampliare la capacità di aggiornamento diretto e indiretto delle competenze degli addetti al settore. L'articolazione del piano formativo prevede lo sviluppo di specifici percorsi nelle seguenti aree:

**Internazionalizzazione:** i percorsi sono volti a fornire competenze sui nuovi sistemi di marketing strategico, tecniche di individuazione e selezione del mercato target, definizione di un business plan oltre a tematiche specifiche tra cui il Contract.

**Ambiente, sicurezza e innovazione organizzativa:** l'aggiornamento sulla normativa e le disposizioni tecniche per la gestione del tema dell'ambiente, della sicurezza e della salute sul lavoro promuovendo un approccio integrato dei sistemi gestionali. Sul tema della Sicurezza, particolare attenzione è rivolta a percorsi formativi in grado di sviluppare comportamenti sicuri ed evitare esposizione al pericolo.

**Innovazione tecnologica di prodotto e di processo:** include gli interventi di aggiornamento delle competenze sui nuovi sistemi di progettazione e costruzione seguendo i principi della green building economy attraverso l'uso di materiali ecologici e naturali per la bioedilizia e tecniche per migliorare la performance energetica delle costruzioni.

**Qualificazione:** sono inclusi i percorsi sia a carattere gestionale che di tipo tecnico, tra cui la formazione su Archicad, ECDL, Lingue straniere, Responsabile Sistemi Informativi Geografici.

Un progetto voluto da:



In collaborazione con:



**FORMEDIL** è l'Ente Paritetico Nazionale per la formazione in edilizia costituito nel 1980 dalle Associazioni firmatarie del Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro Edilizia Industria, ANCE, Feneal UIL, Filca CISL, Fillea CGIL, a cui partecipano anche i rappresentanti di ANAEPa CONFARTIGIANATO, CNA COSTRUZIONI, CLAAI, CASARTIGIANI, ANIEM, AGCI, CONFCOOPERATIVE, LEGACOOOP. Al Formedil fa capo una rete di 103 Scuole Edili che secondo il rapporto Formedil 2014 ha gestito oltre 12.000 corsi, ai quali hanno partecipato oltre 160.000 allievi tra operai e tecnici del settore edile. Attraverso una capillare presenza su tutto il territorio nazionale, il sistema formativo edile garantisce un'offerta formativa in ogni realtà locale e per tutte le esigenze privilegiando l'aggiornamento continuo e la crescita professionale costante degli operatori del processo produttivo edilizio. Il Formedil, insieme alla Commissione Nazionale Paritetica per le Casse Edili (CNCE) e alla Commissione Nazionale dei Comitati Paritetici Territoriali (CNCPT) costituisce il Sistema Bilaterale delle Costruzioni (SBC). Il Sistema Bilaterale delle Costruzioni è il punto di riferimento nazionale, sancito dai CCNL di settore, che nasce per assicurare in maniera integrata formazione, regolarità e sicurezza nei cantieri; per sostenere lo sviluppo economico e sociale dell'intero settore edile nazionale. [www.formedil.it](http://www.formedil.it)



L'**ANDIL** è l'Associazione Nazionale degli Industriali dei laterizi, conta 106 imprese e 127 stabilimenti di produzione, con un totale di circa 4.500 addetti, che immettono sul mercato elementi con diversa destinazione d'uso (murature, divisori, coperture, rivestimenti, pavimentazioni, ecc.).

Attualmente fanno parte dell'ANDIL aziende di ogni dimensione, localizzate in tutte le regioni italiane, che rappresentano circa l'80 % della produzione nazionale complessiva. All'interno dell'Associazione operano le "Sezioni merceologiche", organismi che raggruppano aziende caratterizzate da analoghe produzioni, con la finalità di sviluppare iniziative prevalentemente a carattere promozionale.

ANDIL aderisce a Confindustria e a Federcostruzioni; partecipa alla Federazione Confindustria Ceramica e Laterizi ed, in sede europea, a TBE (Tiles and Bricks of Europe) - Cerame Unie (Federazione dell'intero comparto ceramico). Collabora attivamente, in rappresentanza dell'industria italiana dei laterizi, ai programmi di interesse generale inerenti il "Sistema delle costruzioni", in sinergia con altri organismi federativi, e sviluppa una politica più propriamente di settore, finalizzata allo sviluppo industriale del tessuto imprenditoriale ed all'innovazione dei prodotti in laterizio ed alla loro promozione, in termini di prestazioni tecniche, di comfort e salubrità e del loro corretto impiego. Segue con attenzione l'evoluzione della normativa tecnica strutturale, ambientale ed energetica, è firmataria del contratto nazionale di categoria ed elabora costantemente statistiche di settore; è impegnata, inoltre, nel campo della ricerca e sviluppo. [www.andil.eu](http://www.andil.eu) | [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)

Edizione e stampa a cura di:



**FORMEDIL**

**Ente Nazionale per la formazione e l'addestramento professionale in edilizia**

Via Alessandria 215, 00198 ROMA

formedil@formedil.it - www.formedil.it

*L'articolo "I-town, un progetto europeo per qualificare le risorse umane in edilizia", è di Giovanni Carapella, Formedil*

*Nell'ambito del progetto Agire*



*Avviso 5/2013 - I scadenza. Codice Identificativo AVS/170/13 finanziato da:*



*Il materiale presente in questa pubblicazione è di proprietà di Andil/Laterservice srl:*



**ANDIL**

**Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi**

Via A. Torlonia 15, 00161 Roma

andil@laterizio.it - www.laterizio.it

*ed è tratto dalle seguenti pubblicazioni:*

*NZEB e life cycle thinking,*

Andrea Campioli, *Costruire in Laterizio* n. 159, Ottobre 2014.

*La casa NZEB: una proposta per il clima mediterraneo,*

Costanzo Di Perna, Lorenza Fantini, *Costruire in Laterizio* n. 159, Ottobre 2014.

*Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica,*

Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, *Costruire in Laterizio* n. 159, Ottobre 2014.

*Ecolabel per gli edifici del Mediterraneo,* Maria Chiara Torricelli, Caterina Gargari,

Elisabetta Palumbo, *Costruire in Laterizio* n. 133, gen./feb. 2010.

*Edificio ad energia quasi zero in un'ottica di ciclo di vita,*

Caterina Gargari, *Costruire in Laterizio* n. 159, Ottobre 2014.

*La salute nelle costruzioni moderne: le sfide del domani,* Paola Allegri, Nicola Fiotti,

*Costruire in Laterizio* n. 162, Aprile 2015.

*Qualità ambientale delle pareti in laterizio* tratto da "Pareti leggere e stratificate in laterizio. Il progetto e la qualità delle pareti di divisione, separazione e tamponamento", di Adolfo. F.L. Baratta, Edizioni Laterervice, Roma 2008.

*Il profilo ambientale delle coperture in laterizio,* Caterina Gargari, Elisa Innocenti,

Elisabetta Palumbo, *Costruire in Laterizio* n. 138, nov./dic. 2010.

*Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali,* M. Chiara Torricelli,

Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo, *Costruire in Laterizio* n. 136, lug./ago. 2010.

---

*Prima pagina: schema sintetico dell'approccio life cycle thinking nel settore delle costruzioni. (Grafico elaborato da Sara Ganassali, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano).*

## PREFAZIONE

*Con quest'opera si rinnova la proficua collaborazione tra ANDIL e FORMEDIL; da anni tali enti, infatti, promuovono in sintonia la qualità della posa e della messa in opera dei prodotti e dei sistemi in laterizio.*

*ANDIL e FORMEDIL hanno in comune l'obiettivo di promuovere la tradizione costruttiva del nostro Paese tra i muratori, gli apprendisti, i progettisti, insomma tutti gli operatori di cantiere e i giovani che si indirizzano al settore edile, e diffondere la cultura professionale del laterizio come materiale fondante per una edilizia sostenibile, salubre e sicura e che faccia la sua parte nella riduzione delle emissioni climalteranti facendo risparmiare sia in inverno che d'estate. La ricerca promossa da ANDIL negli ultimi anni ha puntato a dare evidenza al ruolo che assume il laterizio, espressione del costruire italiano, nel contenimento dei consumi energetici, senza trascurare gli aspetti della sicurezza strutturale, della sostenibilità ambientale e del comfort abitativo. In particolare, il progetto della "casa NZEB in laterizio, antisismica, sostenibile e confortevole", sviluppato con il supporto scientifico dell'ENEA e delle principali Università italiane, rappresenta la risposta dell'industria dei laterizi ad un mercato sempre più attento alla sostenibilità ed all'efficienza energetica; tale proposta analizza anche l'aspetto dei costi/benefici delle soluzioni costruttive, nel rispetto dei dettami della direttiva EPBD recast cosiddetta NZEB, e che non trascura gli effetti "collaterali" dell'iperisolamento, quali condizioni di discomfort termo igrometrico nel periodo estivo. Per ridurre significativamente e 'realmente' i consumi in edilizia è, infatti, fondamentale contenere quelli estivi, finora sottostimati. La spinta all'isolamento eccessivo sul modello dei Paesi del nord Europa comporta, infatti, nel contesto mediterraneo: condizioni di insalubrità e di disagio e un discomfort termico, che l'utente, troppo spesso, contrasta con l'ausilio di energivori impianti di climatizzazione dimenticando il ruolo che da secoli l'elevata inerzia termica delle soluzioni massive in laterizio svolge assicurando, anche oggi, bassi consumi estivi ed elevate condizioni di comfort.*

*La rete nazionale delle Scuole Edili aderenti a Formedil, dal canto suo ha nel laterizio un materiale di base all'interno dei propri programmi curriculari e opera per promuovere la qualità professionale degli addetti del settore, con l'obiettivo di innalzare la qualità professionale e tecnologica delle imprese di costruzioni. Il Formedil è impegnato a promuovere la formazione delle risorse umane della filiera delle costruzioni sui temi dell'edilizia sicura e sostenibile a partire dal progetto europeo Build up Skills Italia denominato I-town.*

*Visto il successo riscontrato dalle precedenti iniziative si è deciso, di comune accordo, di pubblicare, avvalendosi delle opportunità offerte da Fondimpresa, un insieme di contributi sui temi sopra esposti tratti dalle ricerche ANDIL raccolte in un volume unico, utilizzabile come Manuale per il corretto impiego del laterizio e guida alla sua posa in opera. Ancora una volta si propone uno strumento completo e al tempo stesso snello perché versatile e di facile uso tanto nelle attività di formazione delle Scuole Edili che come supporto al personale operativo e tecnico di cantiere.*

*Buona lettura!*

*Roma, giugno 2015*

ANDIL  
Il Presidente  
Arch. Luigi Di Carlantonio

FORMEDIL  
Il Presidente  
Ing. Massimo Calzoni



# Indice

■ I laterizi in sintesi.....	11
■ NZEB e <i>life cycle thinking</i> .....	14
■ I-TOWN   <i>Italian training qualification workforce in building</i> .....	17
■ SEZIONE 1: RISPARMIO ENERGETICO .....	21
<b>1 1 La casa NZEB in laterizio. Antisismica, sostenibile e confortevole .....</b>	<b>22</b>
<i>Risparmio e comfort sia d'inverno che d'estate</i> .....	22
<i>Ottimale rapporto costi-benefici delle soluzioni energetiche in laterizio</i> .....	23
<i>La durabilità del laterizio è la chiave della sua sostenibilità</i> .....	23
<i>Progettazione sismica con ANDILWall3</i> .....	24
<b>Le schede .....</b>	<b>26</b>
1. <i>Tamponamento monostrato multincastro a setti sottili con listello in "cotto"</i> .....	26
2. <i>Tamponamento monostrato con blocchi a incastro a setti sottili</i> .....	27
3. <i>Tamponamento monostrato multincastro a setti sottili</i> .....	28
4. <i>Tamponamento monostrato con blocchi rettificati con isolante integrato e listelli faccia a vista</i> .....	29
5. <i>Tamponamento monostrato con blocchi rettificati con isolante integrato</i> .....	30
6. <i>Tamponamento monostrato con blocchi rettificati a setti sottili</i> .....	31
7. <i>Tamponamento monostrato con blocchi con inserti in EPS</i> .....	32
8. <i>Tamponamento pluristrato con forati e mattone faccia a vista</i> .....	33
9. <i>Tamponamento monostrato con blocchi ad incastro a setti sottili</i> .....	34
10. <i>Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista estrusi</i> .....	35
11. <i>Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista pieni</i> .....	36
12. <i>Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista pieni</i> .....	37
13. <i>Muratura portante monostrato</i> .....	38
14. <i>Muratura portante monostrato con isolante integrato</i> .....	39
15. <i>Muratura portante con blocchi a incastro con tasca di malta</i> .....	40
16. <i>Muratura portante con blocchi rettificati riempiti con lana minerale</i> .....	41
17. <i>Muratura armata con isolante e paramento interno con tramezze a fori verticali e setti preincisi</i> .....	42
18. <i>Muratura portante armata con cappotto</i> .....	43
19. <i>Muratura portante armata pluristrato</i> .....	44

20. Muratura pluristrato con tramezze preincise a incastro per divisori tra unità abitative.....	45
21. Tramezza a fori verticali con giunti ad incastro .....	46
22. Solaio in pannelli prefabbricati precompressi in latero-cemento .....	47
23. Solaio con travetti tralicciati in latero-cemento .....	48
24. Solaio bidirezionale con travetti tralicciati in latero-cemento .....	49
25. Solaio in pannelli prefabbricati tralicciati in latero-cemento .....	50
26. Parete ventilata con tavella in laterizio .....	51
27. Involucro ventilato in laterizio con montaggio a secco degli elementi.....	52
28. Copertura ventilata con solaio in latero-cemento .....	53
29. Copertura con tegole in laterizio e impianto fotovoltaico integrato .....	54
30. Copertura in laterizio con tegole solari .....	55

<b>1 2 La casa NZEB: una proposta per il clima mediterraneo .....</b>	<b>56</b>
La nuova Direttiva Europea EPBD recast.....	56
Il caso studio .....	57
La metodologia di analisi.....	57
Risultati .....	59
Conclusioni .....	60

<b>1 3 Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica .....</b>	<b>62</b>
Il quadro normativo: la Direttiva EPBD 2010/31/CE e il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 .....	63
Definizione degli edifici di riferimento.....	63
Definizione delle misure di efficienza energetica.....	64
Valutazione del fabbisogno di energia primaria degli edifici di riferimento in relazione alle misure applicate.....	64
Calcolo dei costi in termini di Valore Attuale Netto.....	64
Confronto dei livelli ottimali calcolati in funzione dei costi con gli attuali requisiti minimi di prestazione energetica.....	66
Applicazione della metodologia cost-optimal ad un caso studio reale ...	66
Risultati .....	67
Conclusioni .....	68

Il "concept" della Casa NZEB in laterizio è stato realizzato con la partnership di Acer e Saie

## ■ SEZIONE 2: SOSTENIBILITÀ E SALUBRITÀ .....

<b>2 1 Ecolabel per gli edifici del Mediterraneo .....</b>	<b>70</b>
Sostenibilità degli edifici ed ecolabel.....	70
Sistemi di ecolabel.....	71
Aspetti significativi per un ecolabel nel contesto mediterraneo .....	74
Conclusioni .....	75

<b>Scheda HQE relativa al Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort .....</b>	<b>76</b>
--	-----------

<b>2 2 Edificio ad energia quasi zero in un'ottica di ciclo di vita .....</b>	<b>77</b>
<i>L'efficienza energetica degli edifici NZEB .....</i>	78
<i>L'energia incorporata negli NZEB.....</i>	78
<i>ANDIL: la casa NZEB in laterizio .....</i>	79
<i>Il software LATERLIFE per la valutazione LCA di elementi in laterizio....</i>	80
<i>Conclusioni .....</i>	82
<b>2 3 La salute nelle costruzioni moderne: le sfide del domani .....</b>	<b>84</b>
<i>Uomo e ambiente .....</i>	84
<i>Uomo e costruzioni .....</i>	85
<i>Costruzione ambiente .....</i>	88
<i>Conclusioni .....</i>	89
<b>2 4 Qualità ambientale delle soluzioni in laterizio .....</b>	<b>90</b>
<i>Laterizio e ambiente .....</i>	90
<i>Valutazioni ambientali.....</i>	90
<i>Scelta del sito estrattivo.....</i>	90
<i>Prelievo delle risorse .....</i>	91
<i>Impiego di additivi.....</i>	92
<i>Consumo e recupero energetico.....</i>	93
<i>Emissioni nocive in fase produttiva .....</i>	94
<i>Recupero dei siti industriali.....</i>	94
<i>Requisiti e criteri di progettazione .....</i>	95
<i>Valutazioni ambientali sulla fase di posa in opera.....</i>	96
<i>Valutazioni ambientali sulla fase d'uso .....</i>	97
<i>Qualità dell'aria e sostanze inquinanti negli ambienti confinati.....</i>	98
<i>Emissioni nocive.....</i>	99
<i>Valutazioni ambientali sulla fase di dismissione .....</i>	100
<b>2 5 Il profilo ambientale delle coperture in laterizio .....</b>	<b>102</b>
<i>Lo standard prEN 15804.....</i>	102
<i>La comparazione dei profili ambientali dei materiali da costruzione.....</i>	103
<i>Profili ambientali dei prodotti in laterizio: gli elementi per copertura....</i>	103
<i>La ricerca TAeD sulle tegole in laterizio .....</i>	104
<i>Unità funzionale .....</i>	105
<i>La fase d'uso: trasporto e manutenzione.....</i>	106
<i>Conclusioni .....</i>	109
<b>2 6 LATERLIFE: software per la valutazione ambientale di soluzioni tecniche in laterizio .....</b>	<b>110</b>
<b>2 7 Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali.....</b>	<b>112</b>
<i>Il software Laterlife .....</i>	114
<i>Il database .....</i>	115
<i>Il foglio di calcolo on-line delle prestazioni ambientali .....</i>	116
<i>Conclusioni .....</i>	118



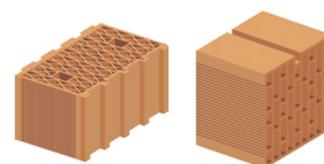
## I LATERIZI IN SINTESI



### Murature

Gli elementi in laterizio per strutture murarie possono essere mattoni pieni e semipieni (rispettivamente, con percentuale di foratura inferiore al 15% e al 45%) e blocchi semipieni (con percentuale di foratura compresa tra il 15 ed il 45%) e forati (con percentuale superiore al 45%). Vengono utilizzati sia per la realizzazione di murature portanti, sia come tamponamento all'interno di strutture intelaiate in cemento armato. I mattoni ed i blocchi vengono prodotti sia in laterizio normale che alleggerito in pasta, allo scopo di incrementare le prestazioni di isolamento termico ed acustico.

Possono inoltre essere con facce "di letto" rettificata (o a giunti sottili) e ad incastro (con presenza di appositi risalti maschio-femmina in corrispondenza dei giunti verticali).



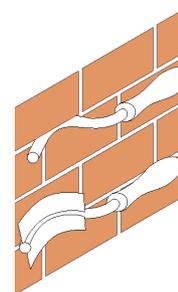
### Elementi per faccia a vista

I laterizi e gli elementi speciali faccia a vista costituiscono la "nobilitazione" del mattone comune per muratura. La loro produzione richiede l'uso di argille selezionate, scelte in modo che il prodotto finale presenti adeguate caratteristiche estetiche, la massima resistenza agli agenti atmosferici e le prestazioni proprie di un materiale destinato ad essere lasciato a vista.

Hanno vari aspetti (in forma e colori) e trattamenti superficiali (rullati, sabbati, graffiati, ecc.). In relazione alla diverse tipologie di produzione si possono classificare in "estrusi" (pieni, semipieni o forati), "pasta molle" (fatti a mano o meccanicamente), "pressati" (pieni, con percentuale di umidità dell'impasto che varia dal citato "pasta molle" al secco).

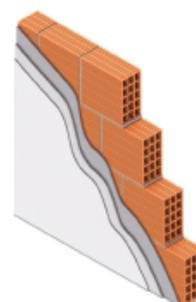
Oltre ai diversi tipi di faccia a vista vengono prodotti pezzi speciali (in piccole quantità o su specifico disegno) per archi e colonne, per cimase, cornici e scalini, per pavimentazioni, arredo urbano, ecc. Della stessa famiglia fanno parte anche i "listelli" ed i "frangisole", elementi ad elevata percentuale di foratura, con disposizioni particolari dei setti, per tamponamenti verticali trasparenti caratterizzati da rese estetiche estremamente suggestive e l'ombreggiamento degli edifici secondo i criteri delle "bioedilizia".

A questa famiglia di prodotti afferiscono anche le "pareti/facciate ventilate" in laterizio, ottime soluzioni per l'isolamento termico ed acustico, utilizzabili anche per il retrofitting energetico degli edifici esistenti.



### Pareti leggere

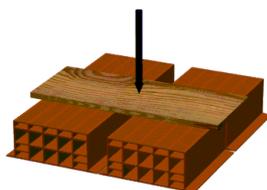
Sono elementi in laterizio di tipo leggero che, possono essere posti in opera sia a fori verticali che orizzontali (paralleli al piano di posa). In tali prodotti l'area complessiva dei fori varia dal 45 fino al 70-75% dell'area totale della sezione di estrusione. Data l'elevata percentuale di vuoti, la resistenza alla compressione dei mattoni e dei blocchi forati risulta inferiore a quella degli altri elementi per muratura e, pertanto, essi vengono prevalentemente utilizzati per pareti di tamponamento e divisori. Con percentuale di foratura fino al 55% possono, tuttavia, essere usati anche con funzioni portanti, per costruzioni in zone non dichiarate sismiche. A seconda del livello prestazionale che si intende ottenere (protezione termica ed acustica) tali elementi possono essere assemblati in unico o doppio strato, con l'eventuale inserimento di materiale termoisolante.





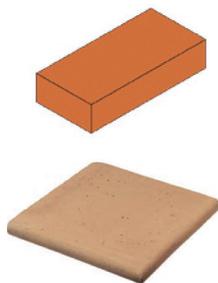
### Elementi per tavelle e tavelloni

Sono questi laterizi particolari, generalmente a setti sottili, che richiedono materie prime e tecnologie produttive raffinate. I “tavelloni” sono elementi forati, con spessore tra 6 e 8 centimetri, larghezza di circa 25 centimetri e lunghezza che varia dai 50 ai 200 e più centimetri; le tavelle hanno analoga configurazione ma sono di spessore minore (4-6 cm) e di lunghezza massima compresa tra i 40-50 centimetri. Mentre le “tavelle” trovano impiego nelle controsoffittature, nelle “fodere” di pareti verticali e in specifici interventi di isolamento termico (come coperture di pilastri e cordoli in c.a. per evitare i ponti termici), i tavelloni vengono impiegati sia per realizzare strutture orizzontali, appoggiate su appositi travetti o muricci, sia per strutture verticali di controfodera o tramezzature (sono correttamente impiegati, per quest’ultima destinazione, i tavelloni “gessati”, ricoperti su una o su tutte due le facce maggiori di scagliola di gesso, che consente di ottenere una superficie piana senza necessità di ulteriore intonacatura), oltre ad avere un largo impiego nella realizzazione di arredi fissi interni quali pedane, mensole, muretti ecc.



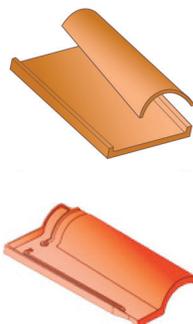
### Solai

Gli elementi in laterizio per strutture orizzontali (solai) consentono, in unione al calcestruzzo armato la realizzazione di orizzontamenti di elevata rigidità, alte prestazioni strutturali e, contemporaneamente, di estrema leggerezza. I laterizi per solai sono elementi di forma pressoché parallelepipedica, posti in opera a fori orizzontali, con percentuale di foratura compresa tra il 50 e il 75%. A seconda del tipo di esecuzione prescelto, sono disponibili per solai da gettare in opera, oppure i cosiddetti “interposti”, che richiedono l’impiego di travetti prefabbricati - ad armatura lenta o precompressi - sui quali appoggiano con opportuni risalti (alette) sporgenti dai lati. Blocchi in laterizio vengono parimenti utilizzati nella prefabbricazione di pannelli o come alleggerimento in combinazione con lastre in calcestruzzo armato, soluzioni particolarmente indicate in presenza di una marcata modularità esecutiva.



### Elementi per pavimenti in cotto

Di uso antichissimo, gli elementi per pavimentazioni corredano e qualificano abitazioni semplici e raffinate. Prodotti con argille particolarmente selezionate, dovendo resistere a sollecitazioni meccaniche ed ambientali, vengono utilizzati sia all’interno che all’esterno, con diversi tipi di finitura. Possono essere inquadrati in due tipologie principali “pianelle” (aventi, cioè, lunghezza e larghezza prevalenti rispetto allo spessore), disponibili in vari formati (rettangolari, quadrati, esagonali, ecc.), posate con modalità rigida o a secco, e “mattoni” (di forma “tozza”, con lato di usura rettangolare o assimilabile) posati con modalità flessibile o rigida e usati prevalentemente per ambienti esterni. Entrambe le tipologie sono utilizzabili tal quali o in combinazione tra loro.



### Elementi per coperture (tegole e coppi)

I laterizi per coperture sono particolarmente indicati per proteggere dagli agenti atmosferici i tetti a falde inclinate. In Italia se ne producono di due categorie: le “tegole curve” (o coppi) e le “tegole piane”, che prendono varie denominazioni a secondo della loro conformazione: marsigliese, portoghese, romana (o embrice), olandese. La ricerca aziendale ha portato allo sviluppo di elementi innovativi dando vita a nuove tipologie come la cosiddetta tegola-coppo, la tegola con doppio canale di coperta, quelle di “grandi dimensioni”, ecc.

La differenza sostanziale tra le due categorie citate, oltre naturalmente alla forma, è rappresentata dal tipo di giunzione tra elemento ed elemento: mentre per i coppi la tenuta agli agenti atmosferici (che è uno dei requisiti essenziali delle coperture) è affidata alla semplice sovrapposizione dei singoli pezzi, le tegole piane presentano una serie di incastri e risalti sui quattro lati in gradi di assicurare la completa tenuta all’acqua.

Grazie alle loro dimensioni ridotte questi prodotti possono adattarsi anche a forme complesse di copertura, consentendo risultati architettonici di tutto rispetto. Si possono produrre in varie colorazioni, sia miscelando opportune diverse qualità di argilla, sia aggiungendo sostanze coloranti, per lo più ossidi naturali, all'impasto, ottenendo in tal modo colori che vanno dal giallo al rosso al testa di moro. Vengono inoltre prodotti tegole e coppi smaltati in vari colori, e tipi "antichizzati", ai quali cioè viene dato artificialmente quell'aspetto che normalmente il tempo e l'azione di sole, vento e pioggia conferiscono alle coperture. Quest'ultimo tipo di produzione trova sempre più largo impiego negli interventi di restauro e ristrutturazione.

### **Camini e canne fumarie**

Le canne fumarie in laterizio (o affini al laterizio) devono offrire una buona resistenza al calore, risultare impermeabili ai gas ed alla condensa. Possono essere interne od esterne all'involucro edilizio, monoparete o doppiaparete, quadrate, rettangolari, circolari e ovoidali. Inoltre è possibile rivestirle con materiali isolanti ad alta resistenza termica già predisposti per l'aggrappaggio dell'intonaco. Adatte a qualsiasi impiego, grazie alle proprietà termiche dell'argilla, facilmente riscaldabile, sono particolarmente indicate per favorire il tiraggio in fase di avvio dell'impianto. Le pareti lisce e le forme circolari, ovoidali o quadrate, favoriscono la naturale rapida risalita dei fumi e riducono al minimo il rischio di condensa. Sono inattaccabili dagli acidi prodotti dalla combustione. Le canne fumarie (camini) in laterizio assolvono la funzione di scarico dei prodotti della combustione, di caldaie, caminetti, cucine. Possono essere utilizzate come condotti per aerazione dei locali e per l'evacuazione dei fumi. Sono completate, inoltre, da una serie di pezzi speciali, quali terminali, curve, elementi di attraversamento, con sportello di ispezione, ecc.



## NZEB E LIFE CYCLE THINKING

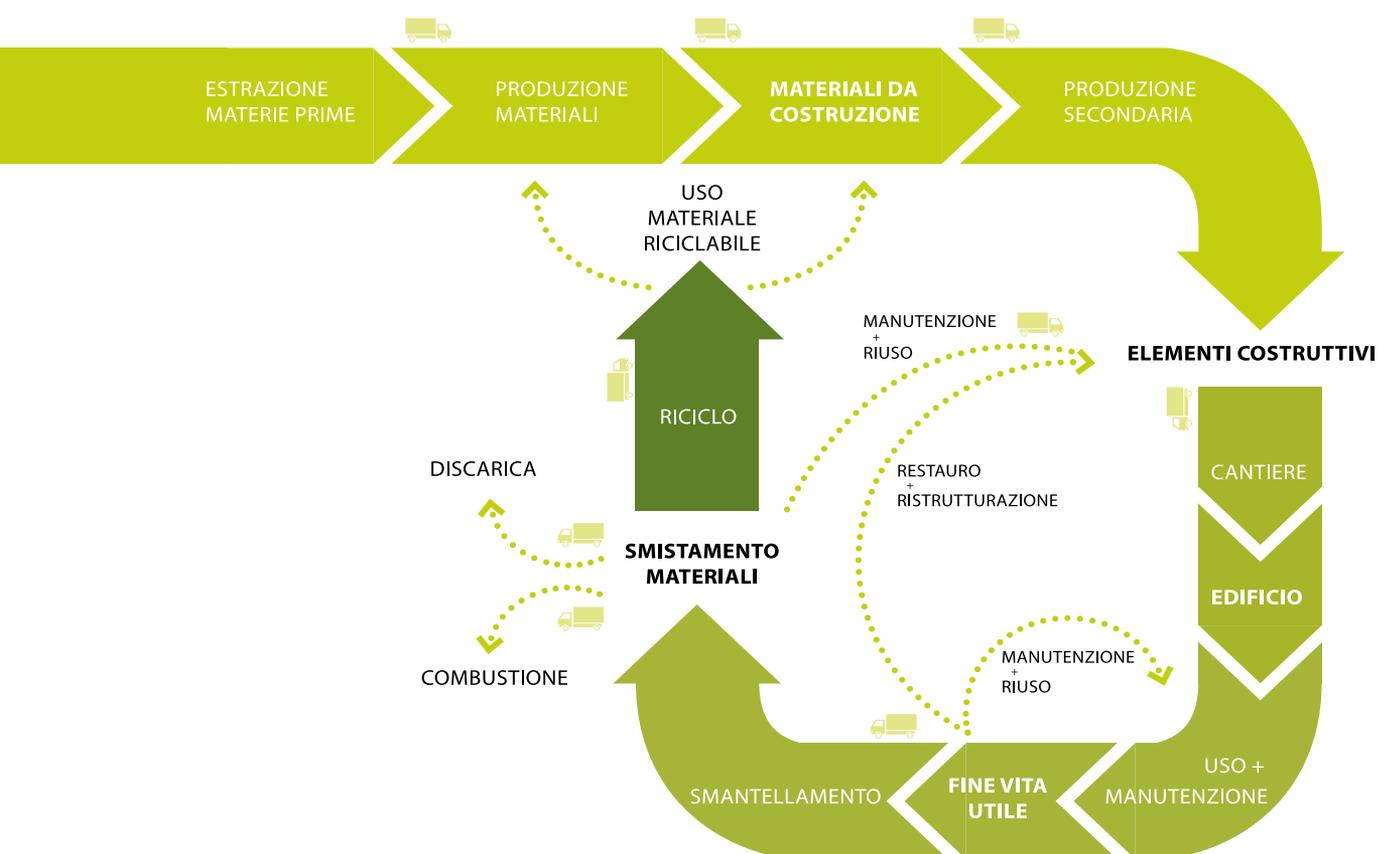
di Andrea Campioli, *professore ordinario di Tecnologia dell'architettura, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano.*

### Il recepimento della Direttiva 2010/31/UE

Sulla prestazione energetica negli edifici da parte degli Stati membri ha ravvivato l'interesse degli operatori della filiera delle costruzioni nei confronti del tema dell'efficienza energetica, ponendo obiettivi ancora più ambiziosi rispetto a quelli trapiantati nell'ultimo decennio a seguito del recepimento della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico dell'edilizia. Coerentemente con gli obiettivi indicati dal Consiglio dell'Unione sul fronte del contenimento dei consumi energetici e dell'incentivazione dell'impiego di fonti energetiche rinnovabili (riduzione del 20% del consumo energetico e copertura del 20% del consumo energetico mediante fonti rinnovabili entro il 2020), la Direttiva indica chiaramente come scenario di riferimento la necessità che, entro il 2020, all'interno dell'Unione, debbano essere realizzati esclusivamente edifici il cui «fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo» dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze»: i cosiddetti Nearly Zero Energy Buildings. La definizione presenta una perimetrazione incerta, sia per quanto riguarda la misura del fabbisogno che può essere coperto con energia da fonti non rinnovabili<sup>2</sup>, sia per quanto

**Schema sintetico dell'approccio life cycle thinking nel settore delle costruzioni.**

**(Grafico elaborato da Sara Ganassali, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano)**



riguarda l'individuazione del bacino di riferimento che può essere utilmente considerato ai fini dell'approvvigionamento di energia da fonti rinnovabili<sup>3</sup>, ma appare altresì evidente come essa descriva in termini inequivocabili un obiettivo prestazionale che per essere raggiunto richiede un profondo rinnovamento nel modo in cui gli edifici sono concepiti e costruiti. Numerose sono le sperimentazioni condotte in questa direzione già nel decennio scorso. La celeberrima esperienza del quartiere BedZED (Beddington Zero Energy Development, un piccolo sobborgo a sud di Londra), al di là delle effettive prestazioni raggiunte rispetto alle attese e delle difficoltà che hanno caratterizzato la fase di gestione dell'intervento, rappresenta l'emergenza di una progettualità diffusa, chiaramente orientata al raggiungimento di elevati livelli di efficienza energetica<sup>4</sup> che, anche nelle più recenti espressioni, trova sostanza nella declinazione convergente di tre differenti strategie: il contenimento dei consumi energetici, l'ottimizzazione delle prestazioni del sistema impiantistico e la produzione di energia da fonti rinnovabili.

L'attività condotta in questi anni ha accresciuto la consapevolezza progettuale nei confronti delle relazioni tra l'edificio e il clima e ha portato a maturazione il «milieu» tecnico di riferimento sul versante dei sistemi edilizi e impiantistici che hanno reso possibile la progettazione e la costruzione di edifici energeticamente molto efficienti durante la fase d'uso, sia in inverno, sia in estate. E qui occorre sollevare una questione. La prospettiva entro la quale viene collocato il tema dell'efficienza energetica focalizza l'attenzione sull'energia che viene impiegata per far funzionare e utilizzare l'edificio. Poco o nulla si dice invece della quantità di energia che deve essere investita nella costruzione degli involucri e degli impianti per raggiungere le prestazioni di un edificio a energia quasi zero e per mantenerle nel tempo; poco o nulla si dice della quantità di energia impegnata nella realizzazione del sistema di produzione di energia da fonti rinnovabili con cui coprire il fabbisogno. Se questo restringimento di campo poteva essere pienamente legittimo quando si trattava di riqualificare una prassi costruttiva caratterizzata da bassissimi livelli di efficienza energetica, esso diviene fuorviante oggi che si tratta di incrementare ulteriormente prestazioni già molto elevate.

Una corretta valutazione dell'effettivo livello di efficienza energetica di un NZEB non può prescindere dalla considerazione dell'intero ciclo di vita. D'altra parte, il problema viene posto nella direttiva stessa, laddove si afferma che i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi «**dovrebbero essere fissati in modo da conseguire un equilibrio ottimale** in funzione dei costi tra gli investimenti necessari e i risparmi energetici realizzati nel ciclo di vita di un edificio»<sup>5</sup>.

Considerare i consumi di energia di un edificio in una prospettiva life cycle significa assumere come confini del sistema da osservare tutte le azioni che in esso vengono compiute, dal reperimento dei materiali necessari alla sua costruzione, fino alla sua demolizione. Significa cioè considerare l'energia consumata nell'estrazione delle materie prime; quella consumata per la trasformazione e produzione di materiali e componenti costruttivi, per i trasporti, per l'approntamento del cantiere; l'energia utilizzata per l'uso dell'edificio in condizione di confort e per tutte le operazioni di manutenzione destinate a conservare nel tempo i livelli prestazionali iniziali; vuol dire, infine, considerare quella necessaria per la dismissione dell'edificio alla fine della sua vita utile. Si può osservare pertanto come il contenimento dei consumi energetici nella fase d'uso costituisca soltanto una parte del problema e occorre altresì sottolineare come i consumi nelle diverse fasi risultino spesso interdipendenti. È infatti certamente possibile ridurre significativamente i consumi energetici aumentando l'isolamento dell'involucro e installando impianti di ventilazione meccanica con recupero di calore ed è anche possibile produrre energia attraverso impianti che sfruttino le risorse rinnovabili, ma questo comporta un aumento dell'energia che viene consumata per produrre i materiali, per realizzare e condurre gli impianti e per attuare le manuten-

zioni correlate alla maggior densità impiantistica. Occorre infine sottolineare come a un più elevato consumo di energia nella fase di costruzione indotto dalle accresciute prestazioni dell'edificio in fase d'uso corrisponda anche un aumento degli impatti ambientali prodotti in termini di utilizzo di risorse e di emissioni nell'aria e sul suolo che non possono essere trascurati in una visione articolata e più completa della sostenibilità ambientale nelle costruzioni. È il caso della produzione di energia da biomassa, che offre un contributo certamente positivo nel bilancio energetico, ma che determina al contempo emissioni di polveri e CO<sub>2</sub> che non possono essere trascurati.

Tutte queste ragioni consentono di evidenziare come i riferimenti normativi abbiano impropriamente circoscritto il problema della costruzione di edifici a energia quasi zero all'ambito dell'individuazione e della messa a punto di tecniche costruttive e impiantistiche particolarmente efficaci dal punto di vista del contenimento dei consumi energetici operativi, con particolare attenzione a quelli invernali, e della produzione di energia da fonti rinnovabili. Mentre più adeguata sarebbe una sua collocazione all'interno dello scenario di riferimento più ampio di un agire progettuale eco-efficiente, ovvero orientato a «ottenere a prezzi competitivi prodotti e servizi che soddisfino i bisogni umani e portino a una maggiore qualità della vita, riducendo progressivamente l'impatto ecologico, riducendo l'uso di risorse naturali durante il ciclo di vita del prodotto e portando quindi gli impatti ambientali e i consumi di risorse a un livello compatibile con la capacità di carico dell'ambiente naturale»<sup>7</sup>.

#### Note

1. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, art. 2, GU L 153 del 18.6.2010, p. 18
2. Si segnala come le definizioni di Zero Energy Building e di Net Zero Energy building escludano la possibilità di impiego di energia da fonti non rinnovabili.
3. L'energia necessaria a coprire il fabbisogno residuo può essere indifferentemente reperita producendola da fonti rinnovabili disponibili nell'edificio o nella più estesa area di progetto, utilizzando fonti energetiche reperibili lontano dal sito per produrre energia nel sito e infine acquistandola da produzioni esterne al sito. Si veda, P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, *Zero Energy Buildings. A critical Look at the Definition*, ACEEE Summer Study Pacific Grove, 2006 e A.J. Marszal, et al., *Zero Energy Building. A review of definitions and calculation methodologies*, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4, April 2011, pp. 971-979.
4. Un'interessante rassegna degli esiti di questa progettualità è proposta nel libro di K. Voss e E. Mulsall, *Net zero energy buildings. International projects of carbon neutrality in buildings*, Institut für internationale Architektur Dokumentation, München, 2011, 2012, che restituisce parte del lavoro svolto a partire dal 2008 da un gruppo di esperti attivato dalla IEA (International Energy Agency) nell'ambito del programma Solar Heating and Cooling.
5. M. Lavagna, M. Bonanomi, C. de Flumeri, *Edifici a consumo energetico zero. Orientamenti normativi, criteri progettuali ed esempi di Zero Energy e Zero Emission Buildings*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2012.
6. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, premessa 10, GU L 153 del 18.6.2010, p. 14.
7. Questa definizione di ecoefficienza fa riferimento a S. Schmidheiny, *Business Council for Sustainable Development, Changing Course*, MIT Press, Cambridge, Mass. 1992.
8. *Design and environmental load assessment of multi-construction kit for temporary applications based on 4dimensional design*, Phd Thesis, Vrije Universiteit Brussel, 2009).

## I-TOWN | ITALIAN TRAINING QUALIFICATION WORKFORCE IN BUILDING

### La sostenibilità è il futuro delle costruzioni: un progetto europeo per qualificare le risorse umane in edilizia

Il progetto I-TOWN (*Italian Training qualificatiOn Workforce In BuildiNg*) è finanziato dall'Unione Europea nell'ambito dell'iniziativa comunitaria *Intelligent Energy Europe - Build up skills Pillar II*.

#### Il contesto

##### Le strategie nazionali del settore edile e il raggiungimento degli obiettivi energetici dell'UE 2020

- Il settore degli edifici non industriali è considerato il principale elemento nel consumo di energia e di emissioni di gas serra (GHG) sia a livello nazionale che europeo. Per contrastare tale problema, le Direttive Europee individuano strategie per la promozione dell'efficienza energetica negli edifici in accordo con gli obiettivi energetici di EU 2020.
- La nuova Politica energetica Nazionale, è stata messa in atto per conseguire gli obiettivi a breve e a lungo termine (2020), al fine di promuovere l'efficienza energetica, lo sviluppo (sostenibile) delle energie rinnovabili.

##### Sistemi scolastici e di formazione rilevanti per il settore edile in Italia

- Per quanto attiene la formazione professionale le regioni e le province autonome hanno facoltà di creare un proprio sistema. Tale caratteristica ha impedito, ad oggi, il processo di definizione di un quadro nazionale comune. Alle Regioni compete la responsabilità di sviluppare e impostare i programmi di formazione professionale anche se esistono disposizioni nazionali finalizzate a garantire un minimo di standardizzazione e qualità dei programmi formativi realizzati in tutto il paese. Tutti gli accordi stipulati recentemente hanno dichiarato la necessità di giungere ad un sistema nazionale di riferimento.

##### Le risorse umane al centro del cambiamento

- Le risorse umane sono il vero valore aggiunto, lo sviluppo di nuove abilità e competenze specializzate, insieme alla formazione dei formatori e alla certificazione dei tecnici nel campo dell'efficienza energetica nel settore edile, è la principale leva del cambiamento e della crescita professionale.
- L'elenco nazionale delle qualifiche rappresenta la base per la definizione di nuove competenze e abilità che gli operatori dovrebbero avere secondo le linee guida della strategia 2020. Tutti gli operatori identificati con una roadmap nazionale devono migliorare le competenze tecniche e quelle trasversali per promuovere l'integrazione nell'intera filiera edile. Gli standard nazionali identificati con la roadmap nazionale, di cui si occupa I-town, sono relativi a: *Operatore edile, Operatore termo-idraulico, Operatore di impianti elettrici, Operatore elettronico, Operatore carpentiere per il legno.*



#### LE FIGURE TARGET DI I-TOWN

- **Operatore edile**, con competenze sulla coibentazione termica ed acustica di parete opache e pavimenti, preparazione di forniture energetiche da fonti rinnovabili e sistemi tradizionali integrati, installazione di elementi radianti nei pavimenti e nei soffitti, eliminazione dei ponti termici.
- **Operatore termo-idraulico**, con competenze su impianti termici, sistemi termo-solari, pompe di calore, biomasse, energia geotermica, sistemi di ventilazione, cogenerazione e trigenerazione.
- **Operatore di impianti elettrici**, con competenze nei sistemi elettrici ottimizzati, fotovoltaici, sistemi di illuminazione, piccolo impianti eolici.
- **Operatore elettronico**, con competenze relative a sistemi di monitoraggio smart e sistemi di controllo di impianti termo-idraulici ed elettrici e sistemi di automazione domestica.
- **Operatori carpentieri per il legno**, con competenze su coibentazione termica ed acustica, sigillatura di finestre, edilizia verde.

### Gli obiettivi

Il cantiere del futuro sarà sostenibile e punterà sull'efficienza energetica. Tutta la filiera delle costruzioni avrà bisogno di accrescere le competenze professionali degli operatori. L'edilizia verde sta generando cambiamenti nella formazione professionale ed è in crescita la necessità di trasmettere competenze interdisciplinari. Per tale ragione il progetto I-TOWN intende sviluppare tre diverse linee formative: generale, rivolta a tutte le risorse umane della filiera edile; tale linea sarà basata sull'educazione allo sviluppo sostenibile e sugli effetti dell'economia verde nel settore edile; specifica, rivolta alle professioni per trasferire competenze operative specifiche, collegate all'innovazione di processo e di prodotto; trasversale, per trasferire abilità trasversali.

### La strategia formativa



- Formazione dei lavoratori: in un primo step sono state effettuate delle rilevazioni iniziali sulle conoscenze, competenze e abilità esistenti ed emergenti nelle aree identificate come prioritarie per l'edilizia verde attraverso un questionario, compilabile anche on line all'indirizzo <http://goo.gl/forms/iNU8pSRlcr>. I dati rilevati costituiranno la base per l'architettura dei programmi modulari di formazione e per i materiali formativi adeguati.
- Formazione dei formatori: una azione chiave è la formazione dei docenti delle aree professionali del settore edile. Nelle aree prioritarie identificate verranno sviluppate metodologie innovative e contenuti tecnici che poi saranno trasferiti ai formatori tramite azioni pilota realizzate con il supporto dei partner.

### La formazione dei formatori

- Certificazione e qualifica dei lavoratori: il riconoscimento e la validazione di sistemi ottimizzati dal progetto verranno realizzati tenendo conto degli standard richiesti dal recente decreto legislativo 16 gennaio 2013, n.13 e la successiva Intesa Stato regioni del 22 gennaio 2015. Il progetto metterà in atto procedure per valutare l'apprendimento formale, informale e non formale e definirà standard minimi a garanzia della qualità dei processi formativi.

## DEFINIZIONE DEI CONTENUTI FORMATIVI TRAMITE LA SEZIONE DI ARGOMENTI LEGATI ALL'EDILIZIA SOSTENIBILE

### IDENTIFICARE LE MACROREE PER LA FORMAZIONE: LE FONTI

Direttive Europee ed orientamenti in materia di efficienza energetica, RES, sostenibilità, gestione dei rifiuti (2009/28/EC, 2013/31/EU, 2012/27/EU, COM [2014] 445)

Confronto con roadmap italiana (Pilar 1)

Legislazione nazionale

Schemi di certificazione della sostenibilità degli edifici (LEED, BREAM Itaca, CasaClima, etc)

Corsi di formazione esistenti per professionisti

### IDENTIFICAZIONE DELLE MACROREE SU CUI STRUTTURARE I CONTENUTI DEI CORSI DI FORMAZIONE

Fonte: Marco Filippi, Elisa Sironbo - Polito

- Garantire la sostenibilità a lungo termine dell'azione: la sostenibilità del progetto è assicurata incoraggiando il dialogo continuo con le parti sociali per l'adozione dei risultati del progetto nell'ambito nazionale dei contratti di lavoro e l'adozione della strategia formativa I-town da parte dei partners di progetto e in particolare dal sistema bilaterale di formazione di settore coordinato da Formedil.

### Risultati attesi

- Certificare o qualificare i lavoratori del settore delle costruzioni (blue collar). Durante lo svolgimento del progetto verranno avviati un certo numero di piani formativi. Si prevede che i corsi di formazione da sviluppare dopo la conclusione del progetto, potrebbero qualificare una quantità significativa di lavoratori edili tra il 2016 e il 2020.
- Formare gli insegnanti, tecnici e professionali che diverranno a loro volta formatori dei lavoratori edili. Il progetto comprende la formazione dei formatori stessi attraverso i corsi 'Formiamo i formatori'. È prevista la realizzazione di una piattaforma e-learning/sistemi di gestione dell'apprendimento, al servizio dei sistemi formativi di settore.
- Accelerare l'applicazione del concetto di efficienza energetica in edilizia. Il partenariato ha l'obiettivo di coinvolgere nel progetto le associazioni più rappresentative del settore delle costruzioni e dell'installazione impianti. Tale cooperazione ottimizzerà l'applicazione di sistemi energeticamente efficienti nelle nuove costruzioni e nel recupero e restauro.

### La rete di partenariato

Il progetto è condotto da un partenariato costituito da:

#### FORMEDIL

*Ente Nazionale per la Formazione e l'Addestramento Professionale nell'Edilizia, coordinatore*

#### ANCE

*Associazione nazionale dei costruttori edili*

#### ASSISTAL

*Associazione Nazionale Costruttori di Impianti e dei Servizi di Efficienza Energetica (ESCo) e Facility Management*

#### POLITO

*Politecnico di Torino*

#### RENAEL

*Rete Nazionale delle Agenzie Energetiche Locali*

#### SINERGIE

*Società Consortile a Responsabilità Limitata*

#### UNINA

*Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Industriale*

#### CNA-ECIPA

*Ente Confederale di Istruzione Professionale della Confederazione Nazionale dell'Artigianato*

#### KEYWORDS PER L'INDIVIDUAZIONE DI MACROAREE

##### ASPETTI CULTURALI

Dallo ZEB  
alla costruzione sostenibile

Schemi legislativi cogenti  
e strumenti volontari

Il mercato del *green building*  
e dell'efficienza energetica

*Green Jobs*: opportunità, sfide  
e nuove responsabilità

##### ASPETTI TECNICI

Strumenti per la qualità  
del processo

Gestione sostenibile  
del cantiere

Tecnologie  
impiantistiche

I requisiti di sostenibilità  
dei materiali da costruzione

Fonte: Marco Filippi, Elisa Sironbo - Polito



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

Contract number: IEE/13/BWI/721/S12.680178  
Project duration from 01/09/2014 to 31/08/2017  
Elaboration date: 29/07/2014

Il sito internet di progetto:  
[www.bus-itown.eu](http://www.bus-itown.eu)



*I laterizi: risparmio energetico, sostenibilità e salubrità.*

# RISPARMIO ENERGETICO

1

## 1|1 LA CASA NZEB IN LATERIZIO. ANTISISMICA, SOSTENIBILE E CONFORTEVOLE

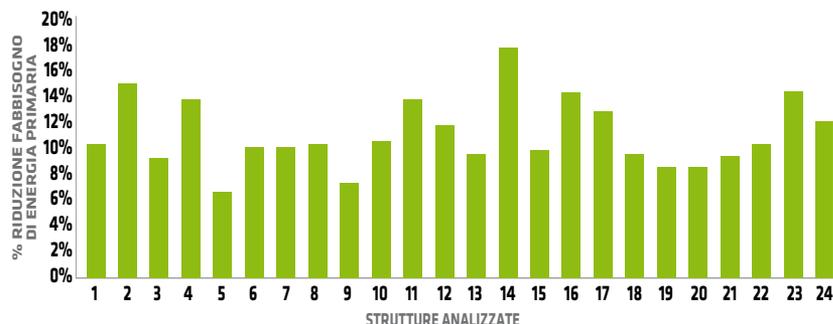
Il recepimento della direttiva EPBD2, che disciplina la prestazione energetica in edilizia, costituisce un primo passaggio fondamentale per il futuro delle costruzioni in Italia, orientato al contenimento dei consumi energetici e delle emissioni climalteranti. Obiettivi che trovano la piena condivisione di ANDIL - Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi, nella consapevolezza che il laterizio, espressione del “costruire italiano”, sia in grado di offrire il proprio contributo al contenimento dei consumi energetici, sia invernali che estivi, particolarmente significativi per il nostro clima. Il conseguente *restyling* dell’attuale normativa in materia energetica, con la “rivoluzione” dell’edificio di riferimento, potrà creare finalmente le condizioni per affrontare il tema dell’efficienza energetica in edilizia nella sua complessità, dando il giusto rilievo anche alla questione “estiva”, che rappresenta, in alcuni casi, la componente prioritaria. Per ridurre significativamente e realmente i consumi in edilizia è fondamentale contenere quelli estivi, finora sottostimati; numerosi sono, infatti, gli studi che dimostrano come la spinta all’isolamento eccessivo sul modello dei Paesi del nord Europa, comporti nel contesto mediterraneo condizione di insalubrità e di disagio; un discomfort termico, a cui l’utente tende, troppo spesso, a contrastare con l’ausilio di impianti energivori. Altro aspetto da considerare, ai sensi della EPBD2, è l’analisi costi-benefici associata alle valutazioni di tipo energetico: le soluzioni con bassissime trasmittanze si caratterizzano per costi di investimenti più elevati in fase di costruzione, non compensati dalla riduzione dei costi energetici di gestione.

### Risparmio e comfort sia d’inverno che d’estate

La EPBD2 impone agli Stati Membri il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica. Il percorso progettuale prevede l’identificazione di un edificio NZEB con basso consumo, per poi associare un sistema impiantistico ad alta efficienza e fonti rinnovabili (ad es. impianto fotovoltaico associato ad una pompa di calore, solare termico per l’acqua calda sanitaria, ecc.) per annullare il fabbisogno energetico, tenendo sempre ben presente il costo globale.

La casa NZEB in laterizio opera su un modello per edilizia economico popolare (housing sociale, proposto da ACER-RE) realizzato nel 2005 (antecedente

Il “concept” della Casa NZEB in laterizio è stato realizzato con la partnership di:

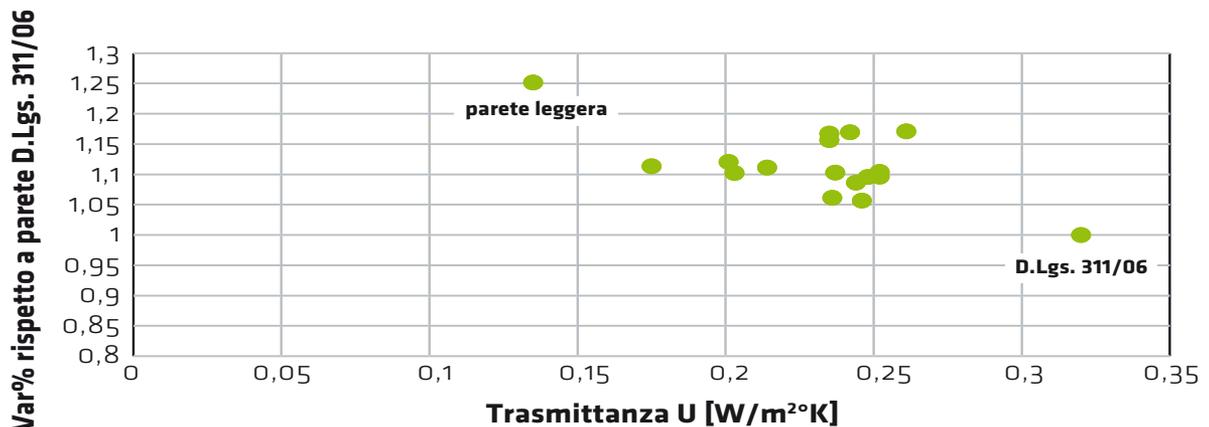


al D.Lgs. 192/05) ed avente un consumo di poco superiore ai 70 kWh/m<sup>2</sup>a , ovvero in classe D (Classe energetica ante L.90/2013). Sono stati eseguiti, quindi, alcuni interventi progettuali migliorativi della “qualità energetica” dell’edificio che hanno portato il consumo invernale dell’edificio da oltre 70 a valori compresi tra 32-40 kWh/m<sup>2</sup>a, utilizzando 24 nuove ed altamente performanti stratigrafie d’involucro. Tale consumo risulta, quindi, annullato utilizzando sia la ventilazione meccanica controllata che le fonti rinnovabili (coperture fotovoltaiche, geotermico, ecc.), secondo diversi scenari.

## Ottimale rapporto costi-benefici delle soluzioni energetiche in laterizio

Non necessariamente la soluzione a minore trasmittanza è quella più conveniente; soluzioni a bassissima “U” si caratterizzano normalmente per costi di investimento più elevati in costruzione, non compensati dalla riduzione dei costi di gestione (consumi energetici). Con lo spostamento verso soluzioni massive a minore trasmittanza, si generano costi energetici maggiori, rispetto ad un edificio realizzato tenendo a riferimento il D.Lgs. 311/06, del 5-15%, a fronte di quasi il 25% di extracosto per la parete leggera. È importante osservare anche che appaiano del tutto equivalenti all’analisi costi-benefici anche soluzioni che distano tra loro più del 30% in termini di trasmittanza.

### ENERGY COSTS [€/M<sup>2</sup>] - Var.% rispetto a parete D.Lgs. 311



*Variazione dei costi energetici globali rispetto alla superficie utile dell’edificio, in rapporto alla parete conforme al D.Lgs. 311/06.*

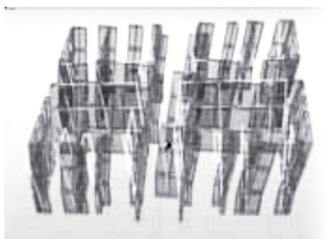
## La durabilità del laterizio è la chiave della sua sostenibilità

Tutte le stratigrafie e soluzioni costruttive della casa NZEB in laterizio sono state analizzate con il software LATERLIFE (messo a punto dall’Università di Firenze e disponibile gratuitamente su [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)) che, sulla base della banca dati LCA dei laterizi, consente la valutazione delle caratteristiche prestazionali ambientali di sistemi costruttivi in laterizio, secondo la metodologia Life Cycle Assessment. Nel concept della “casa NZEB in laterizio” sono stati infatti valutati sistemi costruttivi in laterizio tra quelli maggiormente diffusi, orientando la scelta su quelli caratterizzati da ottime prestazioni energetiche, elevata inerzia termica e comportamento strutturale antisismico. I dati utilizzati per le valutazioni derivano da uno specifico studio LCA, dalla “culla al cancello”, per analizzare gli impatti ambientali dell’intera soluzione e delle singole componenti. È previsto l’uso di sistemi per l’approvvigionamento di energia da fonti rinnovabili per limitare al massimo l’utilizzo di energia fossile nella fase



di gestione. Dal punto di vista degli aspetti sociali, inoltre, è stata premiata l'attenzione dedicata all'edilizia economica popolare per il raggiungimento degli standard della sostenibilità e del comfort per le fasce più deboli, cui sono destinati gli edifici, cosiddetti, di *social housing*, adottando principalmente sistemi passivi, caratterizzati da bassi costi di gestione e da limitati interventi dell'utente. Inoltre il concept della casa NZEB in laterizio, intesa come modellazione di edifici con caratteristiche antisismiche, sostenibili, confortevoli ed a consumo zero ha ricevuto il riconoscimento *Make it sustainable*, lo schema di certificazione sviluppato secondo protocolli internazionali da ICMQ (Organismo di certificazione che opera nel settore dei prodotti e dei servizi delle costruzioni e dell'edilizia).

## Progettazione sismica con ANDILWall3



**ANDILWall 3:  
modello e deformato**

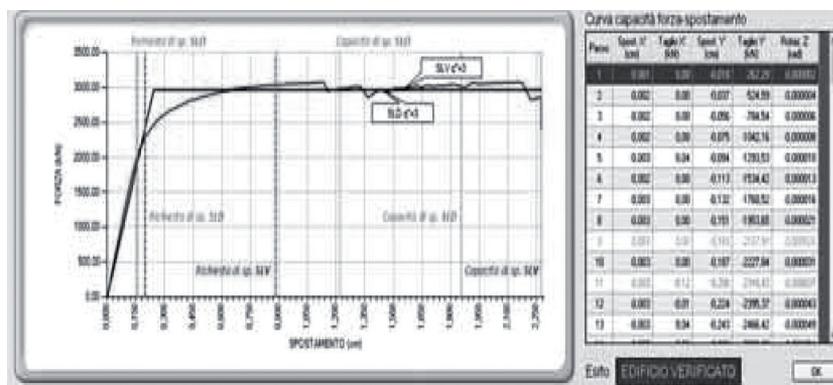
La casa NZEB in laterizio è stata progettata anche nel rispetto delle regole fissate dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.M. 14/01/2008), al fine di verificare la sicurezza della costruzione nella zona sismica di riferimento.

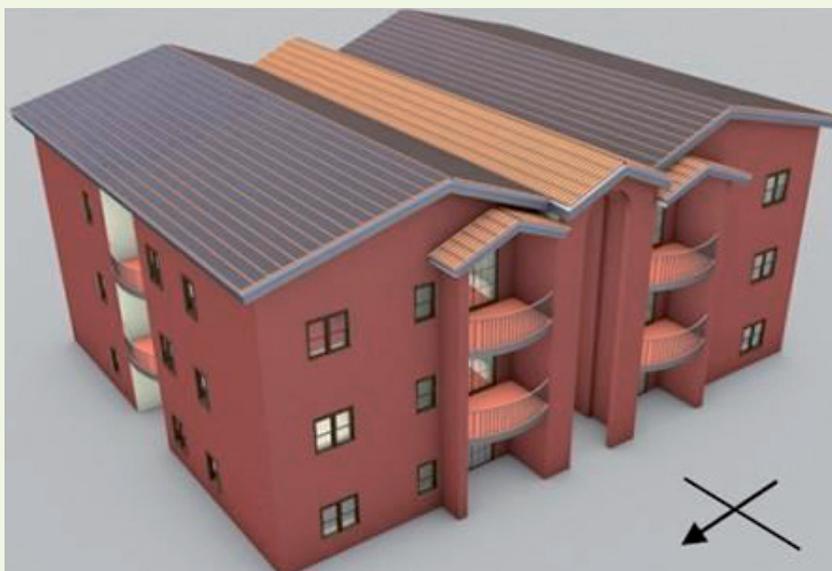
A partire dalla pericolosità sismica locale, le analisi lineari e statiche non lineari sono state svolte con l'ultimissima release 3 del software di calcolo ANDILWall ([www.andilwall.it](http://www.andilwall.it)).

L'edificio analizzato, con 3 livelli (circa 450 m<sup>2</sup> per piano) fuori terra, ha una struttura portante in muratura ordinaria di laterizio. Gli elementi resistenti sono blocchi semipieni ( $f_{bk}=10\text{MPa}$ ) con percentuale di foratura < 45%, assemblati con malta M10. I muri perimetrali presentano uno spessore pari a 40 cm e quelli interni e di controvento uguale a 25 cm. Tutti i solai sono in latero-cemento con un'altezza di 24 cm (20+4).

### DATI PRINCIPALI DEL PROGETTO STRUTTURALE, AI SENSI DELLE NTC. Parametri del sito "pericolosità sismica di base"

Comune	Bologna
Accelerazione orizzontale $a_g/g$ ( $T_R=50$ ) SLD	0,066
fattore di amplificazione $F_0$ ( $T_R=50$ ) SLD	2,482
Periodo di inizio del tratto $v=\text{cost}$ $T^*c$ ( $T_R=50$ ) SLD	0,272
accelerazione orizzontale $a_g/g$ ( $T_R=475$ ) SLV	0,166
fattore di amplificazione $F_0$ ( $T_R=475$ ) SLV	2,404
Periodo di inizio del tratto $v=\text{cost}$ $T^*c$ ( $T_R=475$ ) SLV	0,31
Coefficiente di amplificazione topografica	S=1
Tipo di suolo	C





## DATI GENERALI

**Località:** Bologna

**Altitudine:** 54 m s.l.m.

**Latitudine:** 40° 30' 27"

**Longitudine:** 11° 21' 05"

**Gradi giorno:** 2259

**Zona climatica:** E

**Destinazione d'uso:** Residenziale

**Tipologia:** Piccolo condominio

**Intervento:** Nuova costruzione

**Volume lordo riscaldato:** 3.827 m<sup>3</sup>

**Superficie esterna che delimita lo spazio riscaldato:** 2.013 m<sup>2</sup>

**S/V:** 0,526

**Sup. calpestabile:** 922 m<sup>2</sup>

**N. piani climatizzati:** 3

**Altezza interna netta:** 2,70 m

**N. unità immobiliari:** 14

## DATI COSTRUTTIVI

### 24 stratigrafie caratterizzate da:

#### Chiusura verticale opaca

Pareti monostrato in laterizio portanti e non • pareti multistrato in laterizio con isolamento in intercapedine • pareti multistrato in laterizio con isolamento a cappotto • una parete in legno.

#### Chiusura verticale trasparente

Superfici finestrate a trasmittanza termica media pari a 1,4 W/m<sup>2</sup>K e la cui trasmissione solare è di 0,67 e prive di schermature se non quelle dovute agli aggetti dell'edificio.

#### Chiusura orizzontale superiore

Solaio in latero-cemento con trasmittanza termica pari a 0,297 W/m<sup>2</sup>K.

#### Copertura

Tetto a falde in laterocemento e coppi con trasmittanza pari a 0,623 W/m<sup>2</sup>K.

#### Chiusura orizzontale inferiore

Solaio in latero-cemento con trasmittanza termica pari a 0,210 W/m<sup>2</sup>K.

#### Ponti termici

Trascurati.

#### Partizioni interne

Parete in laterizio sp. 11 cm.

#### Divisione verticale tra ambienti riscaldati

Parete multistrato in laterizio con interposto isolante termico con trasmittanza pari a 0,393 W/m<sup>2</sup>K.

#### Divisione orizzontale tra ambienti riscaldati

Solaio in latero-cemento di trasmittanza pari a 0,576 W/m<sup>2</sup>K.

## Tamponamento monostrato multincastro a setti sottili con listello in "cotto"

1

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	54 cm
Trasmittanza U	0,203 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	426 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,006
Sfasamento	24h+5h 17'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>TE</sub>	0,001 W/(m <sup>2</sup> K)
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52,6 dB

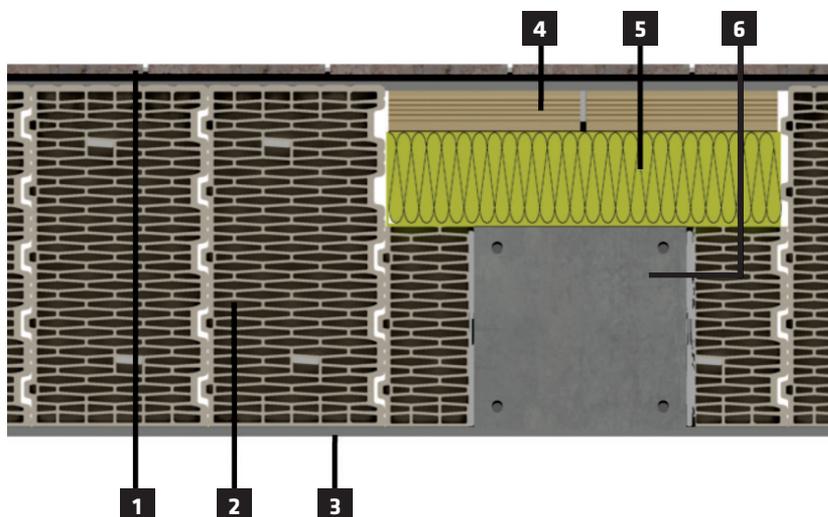
Le prestazioni elevate della muratura monostrato si uniscono alle qualità estetiche del "cotto" faccia vista dando vita ad una tamponatura duratura e senza costi di gestione.

Dal punto di vista termico la trasmittanza U di 0,203 W/m<sup>2</sup>K e l'elevata massa della soluzione apportano benefici di carattere termico e acustico per l'edificio estremamente difficili da raggiungere per pareti analoghe con isolanti leggeri. Tutto questo senza l'ausilio di isolanti e con l'impiego esclusivo di laterizio, materiale naturale, traspirante, stabile e durevole negli anni, per costruire nel rispetto dei canoni della bioedilizia.

La larghezza di oltre 50 cm della tamponatura (premiata dalle normative sugli extra-spessori) abbinata a pilastri di 30 cm, consente l'impiego di molteplici soluzioni per la correzione dei ponti termici in prossimità del telaio in cls.

#### Legenda:

1. Listello faccia in cotto vista tipo a mano sp. 2,5 cm
2. Blocco a incastro a setti sottili in laterizio alleggerito in pasta (foratura 59%) sp. 50 cm
3. Intonaco interno sp. 1 cm
4. Foratella in laterizio sp. 6 cm
5. Strato di materiale isolante in lana di roccia sp. 14 cm
6. Pilastro in c.a. sp. 30 cm

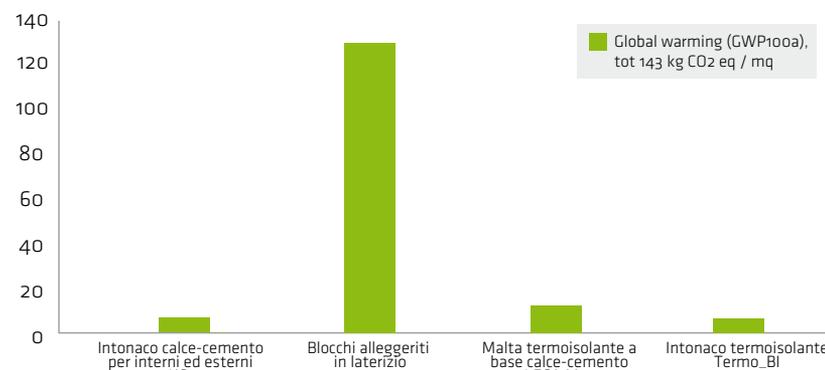
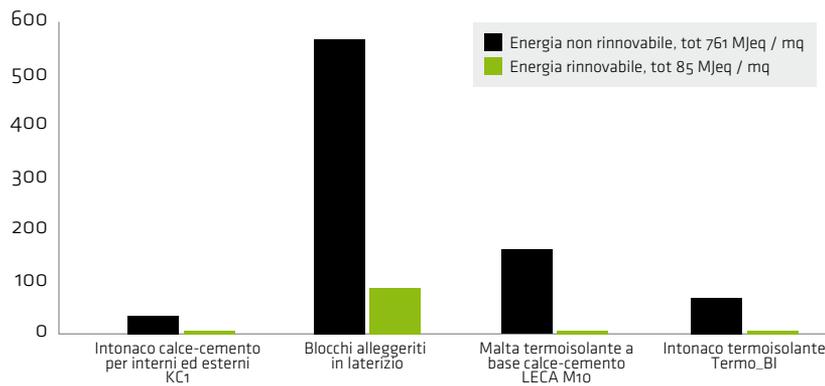


CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI	
Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,236 W/(m²K)
Massa areica	306 kg/m²
Attenuazione	0,029
Sfasamento	21h 33'
Trasmittanza termica periodica $Y_{IE}$	0,007 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno $K_i$	34,7 kJ/m²K
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	49,7 dB

## Tamponamento monostrato con blocchi a incastro a setti sottili

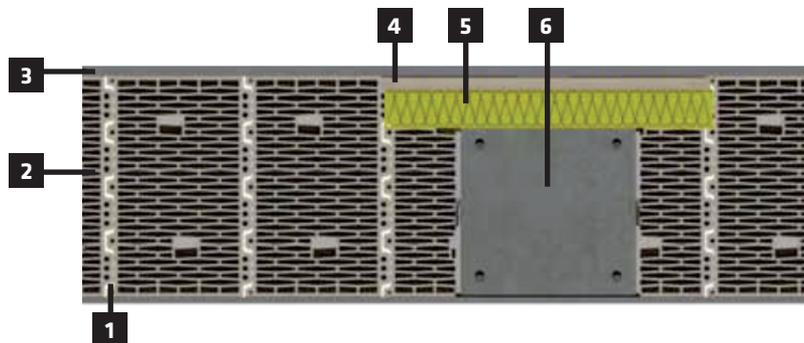
2

### LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE



**Legenda:**

1. Intonaco interno sp. 1 cm
2. Blocco a incastro a setti sottili in laterizio alleggerito in pasta (foratura 53%) sp. 40 cm
3. Intonaco esterno termoisolante sp. 2 cm
4. Tavellina in laterizio sp. 3 cm
5. Strato di materiale isolante in poliuretano sp. 7 cm
6. Pilastro in c.a. sp. 30 cm



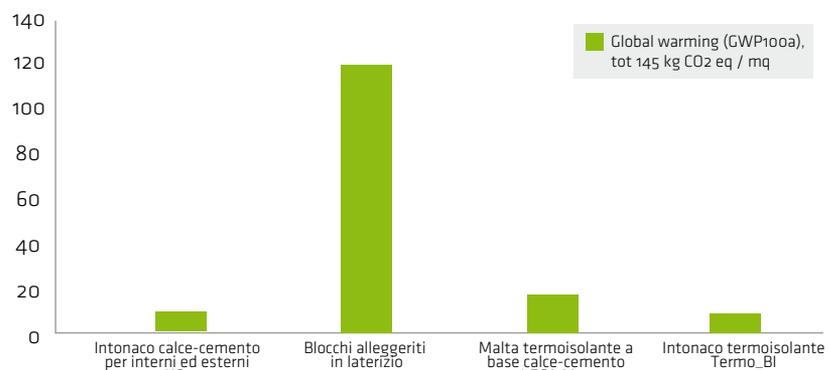
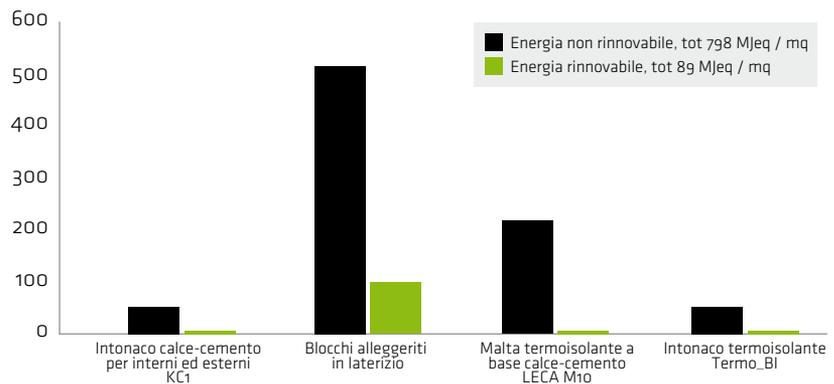
## Tamponamento monostrato multincastro a setti sottili

3

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

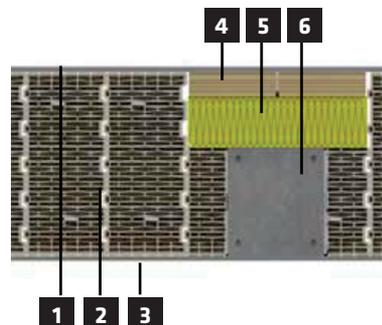
Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	53 cm
Trasmittanza U	0,203 W/(m²K)
Massa areica	404 kg/m²
Attenuazione	0,007
Sfasamento	24h+4h 54'
Trasmittanza termica periodica $Y_{tE}$	0,001 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno $K_i$	38,60 kJ/m²K
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	52,1 dB

### LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE



#### Legenda:

1. Intonaco esterno sp. 1,5 cm
2. Blocco a incastro a setti sottili in laterizio alleggerito in pasta (foratura 59%) sp. 50 cm
3. Intonaco interno sp. 1,5 cm
4. Foratella in laterizio sp. 6 cm
5. Strato di materiale isolante in lana di roccia sp. 14 cm
6. Pilastro in c.a. sp. 30 cm



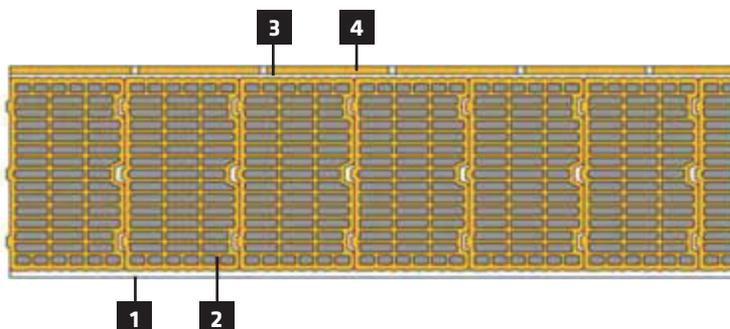
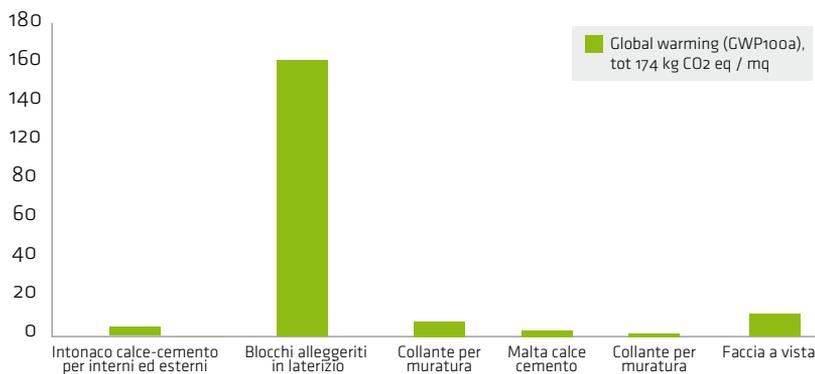
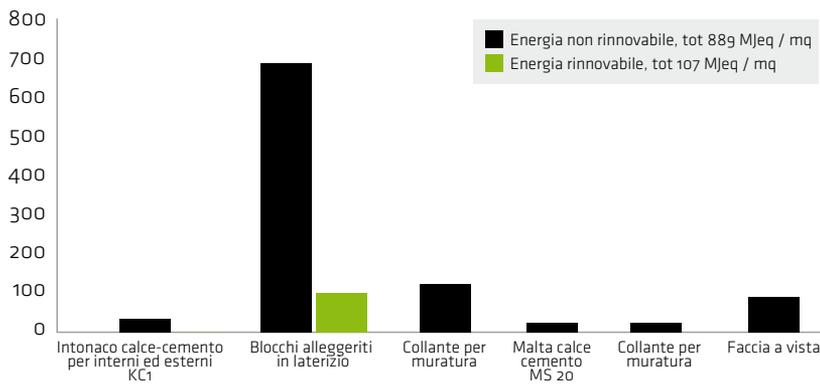
**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,201 W/(m²K)
Massa areica	377 kg/m²
Attenuazione	0,008
Sfasamento	>27h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,012 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	33,10 kJ/m²K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	51,5 dB

**Tamponamento monostrato con blocchi rettificati con isolante integrato e listelli faccia a vista**

**4**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE**



**Legenda:**

1. Intonaco calce-cemento interno sp. 1,0 cm
2. Blocchi rettificati con isolante integrato (foratura < 55%) sp. 40 cm
3. Intonaco di rinaffo sp. 0,5 cm
4. Listello faccia a vista in laterizio sp. 1,5 cm

## Tamponamento monostrato con blocchi rettificati con isolante integrato

5

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	48 cm
Trasmittanza U	0,175 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	419 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,003
Sfasamento	>31h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>T,E</sub>	0,001 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>1</sub>	36,09 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52,4 dB

I blocchi rettificati con isolante integrato sono ottenuti sottoponendo i blocchi in laterizio ad un processo meccanizzato di rettifica che, con alta precisione e ristrettissima tolleranza, rende le facce di posa piane e parallele. Grazie a questa precisione dimensionale, la posa degli elementi viene effettuata non più con uno strato di malta tradizionale ma con uno strato di collante cementizio ad elevate prestazioni termiche dello spessore di 1-2 mm. Inoltre, come ultima fase del processo produttivo, all'interno delle cavità dei blocchi viene sinterizzato polistirene additivato di grafite.

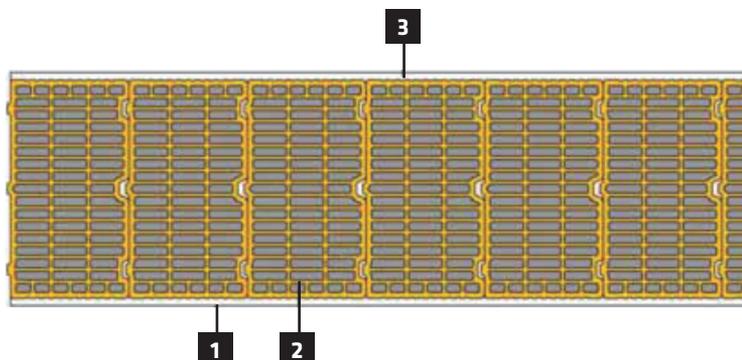
Il sistema proposto permette quindi di realizzare pareti monostrato capaci di elevati valori di isolamento termico ed inerzia termica per garantire edifici a basso consumo energetico.

I principali vantaggi del sistema costruttivo sono:

- tempi di posa dimezzati, grazie alla perfetta planarità dei blocchi, all'incastro a secco verticale e all'utilizzo
- dell'apposito rullo per l'applicazione del collante;
- incremento dell'isolamento termico, garantito dal polistirene ad alte prestazioni all'interno dei fori del blocco
- e dall'eliminazione dei ponti termici generati dai giunti di malta;
- sicurezza e pulizia in cantiere con il passaggio da un sistema costruttivo ad umido ad una a secco;
- riduzione dei costi dovuta alla semplificazione delle lavorazioni di cantiere.

#### Legenda:

1. Intonaco calce-cemento interno sp. 1,5 cm
2. Blocchi rettificati con isolante integrato (foratura < 55%) sp. 45 cm
3. Intonaco calce-cemento esterno sp. 1,5 cm



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	48 cm
Trasmittanza U	0,244 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	419 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,010
Sfasamento	>26h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,002 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	39,20 kJ/m <sup>2</sup> K
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52,4 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	9 MPa

## Tamponamento monostrato con blocchi rettificati a setti sottili

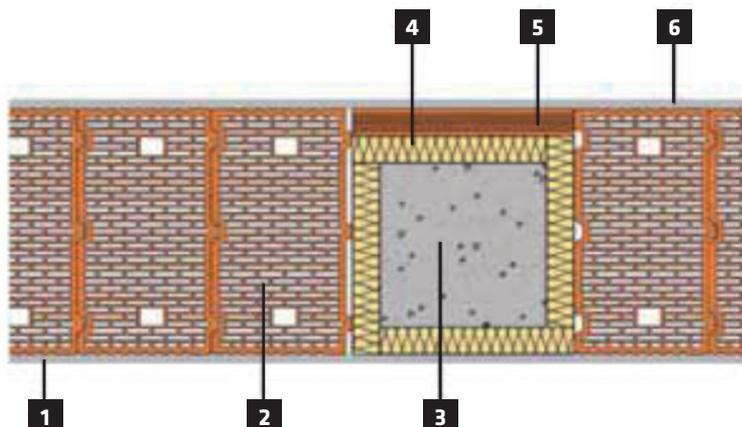
6

I blocchi rettificati a incastro a setti sottili sono ottenuti sottoponendo gli elementi in laterizio ad un processo meccanizzato di spianatura che, con alta precisione e ristrettissima tolleranza, rende le facce di posa piane e parallele.

Grazie a questa precisione dimensionale, la posa degli elementi viene effettuata non più con malta tradizionale ma con uno strato di collante cementizio ad elevate prestazioni termo-isolanti con spessore pari a 1-2 mm.

I principali vantaggi del sistema costruttivo sono:

- tempi di posa dimezzati, grazie alla perfetta planarità dei blocchi, all'incastro a secco verticale e all'utilizzo
- dell'apposito rullo per l'applicazione del collante;
- incremento dell'isolamento termico, garantito dalla porizzazione dell'impasto, dalla particolare geometria del
- blocco e dall'eliminazione dei ponti termici generati dai giunti di malta;
- sicurezza e pulizia in cantiere;
- riduzione dei costi dovuta alla semplificazione delle lavorazioni di cantiere.

**Legenda:**

1. Intonaco calce-cemento interno sp. 1,5 cm
2. Blocchi rettificati a incastro a setti sottili (foratura 50%) sp. 45 cm
3. Pilastro in c.a. dimensioni 30 x 30 cm
4. Pannello isolante in sughero sp. 5 cm
5. Tavola in laterizio sp. 5 cm
6. Intonaco esterno calce-cemento sp. 1,5 cm

## Tamponamento monostrato con blocchi con inserti in EPS

7

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,214 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	321 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,013
Sfasamento	>25h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,013 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	37,00 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	50,1 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	7 MPa

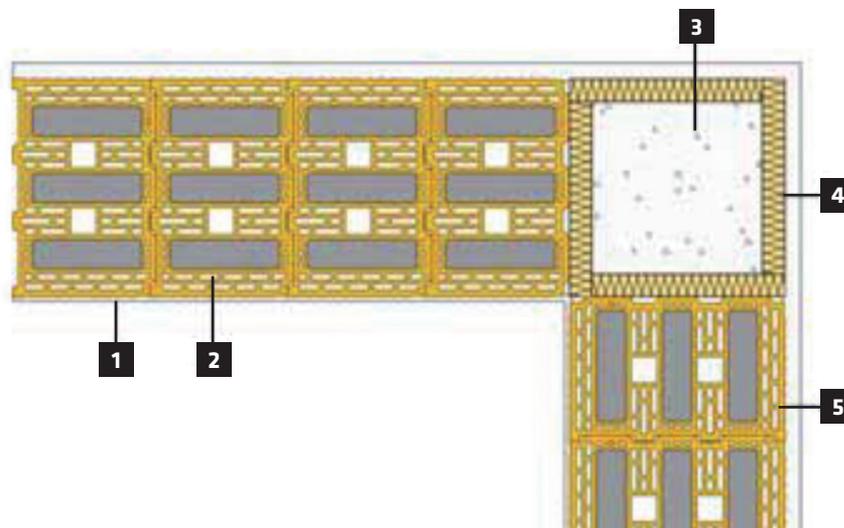
I blocchi in laterizio con isolante integrato presentano una particolare geometria che sviluppa 3 appositi fori nei quali, come ultima fase di un processo produttivo qualitativamente garantito, vengono posizionati inserti in polistirene espanso additivato con grafite. Il risultato è una linea di blocchi in laterizio porizzato ad elevate prestazioni termo-acustiche, ideale per la realizzazione di pareti di tamponamento capaci di coniugare traspirabilità, naturalità e durata nel tempo.

I principali vantaggi del sistema costruttivo sono:

- isolamento termo acustico in un'unica posa, con conseguente riduzione delle fasi di lavorazione ed abbattimento dei costi di realizzazione;
- elevata sicurezza sismica rispetto alle azioni fuori piano che si possono innescare durante un evento sismico ;
- elevata traspirabilità;
- ottima inerzia termica a vantaggio del comfort abitativo sia invernale che estivo.

#### Legenda:

1. Intonaco calce-cemento interno sp. 1,5 cm
2. Blocchi in laterizio con isolante integrato (foratura 60%) sp. 38 cm
3. Pilastro in c.a.
4. Isolante
5. Intonaco esterno termico sp. 3,5 cm



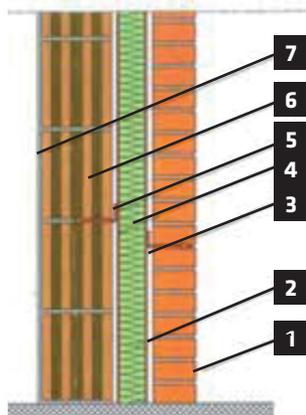
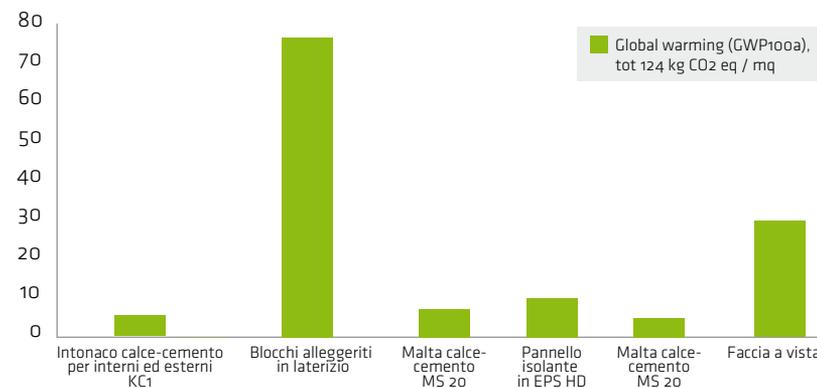
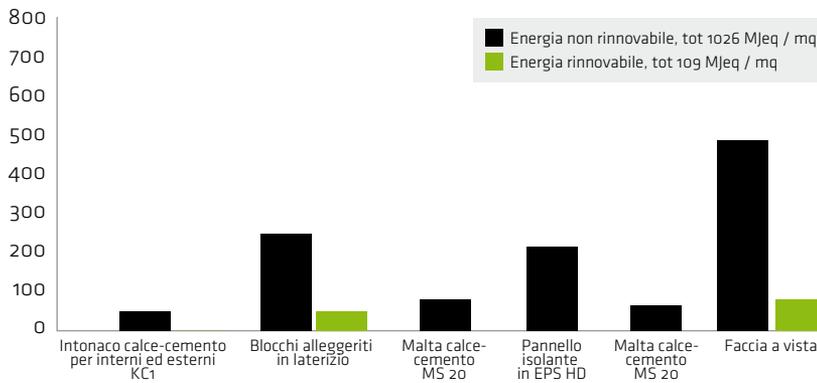
**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	44,5 cm
Trasmittanza U	0,232 W/(m²K)
Massa areica	392 kg/m²
Attenuazione	0,054
Sfasamento	>16h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,013 W/(m²K)
Resistenza meccanica del mattone a vista f <sub>bk</sub>	29 MPa

**Tamponamento pluristrato con forati e mattone faccia a vista**

**8**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE**



**Legenda:**

1. Muratura con mattone a mano 12 cm
2. Pannello coibente in EPS con grafite (tipo Neopor), sp. 8 cm
3. Profilo ad "L" per ancoraggio mattone a mano
4. Profilo a "C" strutturale del sistema di ancoraggio
5. Profilo ad "L" per ancoraggio blocco termico tamponamento
6. Blocco di laterizio di tamponamento (foratura 49%) sp. 20 cm
7. Intonaco di calce e gesso per interni (sp. 1,5 cm)

## Tamponamento monostrato con blocchi ad incastro a setti sottili

9

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	53 cm
Trasmittanza U	0,214 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	424 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,010
Sfasamento	>26h
Trasmittanza termica periodica $Y_{tE}$	0,003 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno $K_1$	38,70 kJ/m <sup>2</sup> K
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	>52 dB

La soluzione proposta consiste in un tamponamento monostrato con blocchi in laterizio alleggerito in pasta a fori verticali a incastro a setti sottili.

È noto a tutti che l'aria in quiete è un eccellente isolante. Realizzare blocchi in laterizio con setti di spessore ridotto permette di ottenere un elevato numero di file di fori nel senso perpendicolare a quello del flusso termico in modo da sfruttare al meglio le proprietà isolanti dell'aria in quiete.

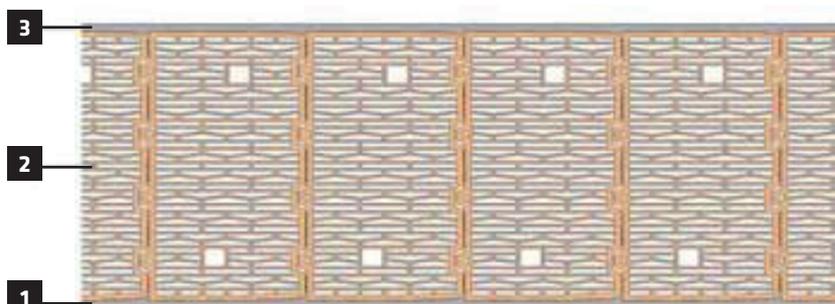
La cospicua massa superficiale della muratura consente di ottenere valori ottimali di sfasamento ed attenuazione dell'onda termica, caratteristica di primaria importanza nelle zone con clima mediterraneo.

I valori di trasmittanza termica stazionaria U, estremamente contenuti, permettono di realizzare un involucro adatto a tutte le fasce climatiche senza ricorrere all'applicazione di strati di materiale isolante.

La prestazione è ottenuta senza ricorrere ad inserimenti o riempimenti con materiali isolanti di sintesi o simili, in modo da garantirne la costanza nel tempo, la stabilità dei materiali costituenti l'involucro ed evitando eventuali problematiche legate al fine ciclo di vita dei manufatti (necessità di separazione dei componenti per un corretto smaltimento e/o recupero).

#### Legenda:

1. Intonaco interno sp. 1,5 cm
2. Blocchi a setti sottili in laterizio alleggerito in pasta (foratura > 60%) sp. 50 cm
3. Intonaco esterno sp. 1,5 cm



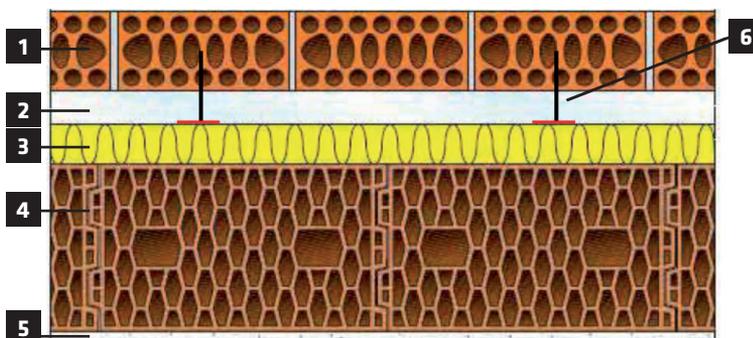
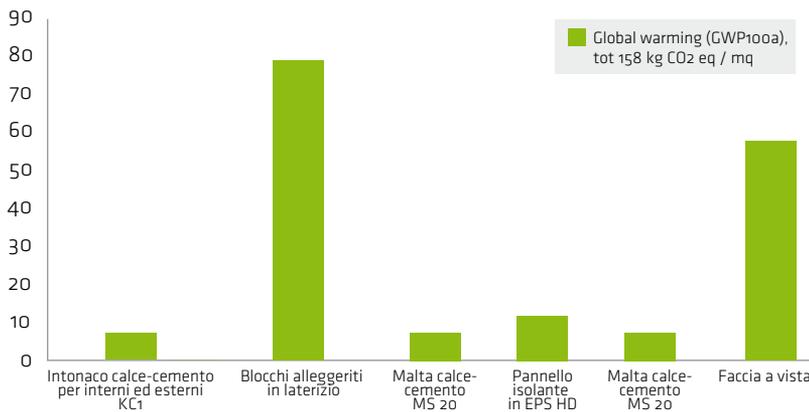
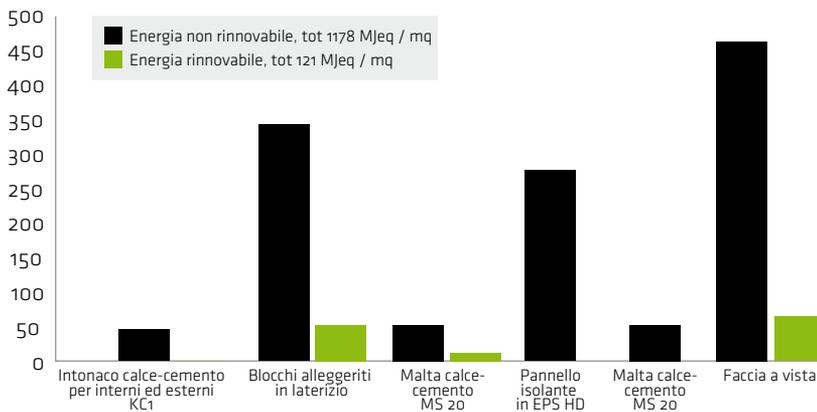
**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	45 cm
Trasmittanza U	0,237 W/(m²K)
Massa areica	353 kg/m²
Attenuazione	0,077
Sfasamento	16h 32'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,018 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>1</sub>	42,00 kJ/m²K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	53,5 dB

**Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista estrusi**

**10**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE**



**Legenda:**

1. *Mattone estruso faccia a vista estruso, sp. 12 cm*
2. *Intercapedine d'aria non ventilata, sp. 3 cm*
3. *Isolante EPS Neopor, sp. 8 cm*
4. *Blocco alleggerito foratura 50%, sp. 20 cm*
5. *Intonaco di calce e gesso, sp. 2 cm*
6. *Graffaggi*

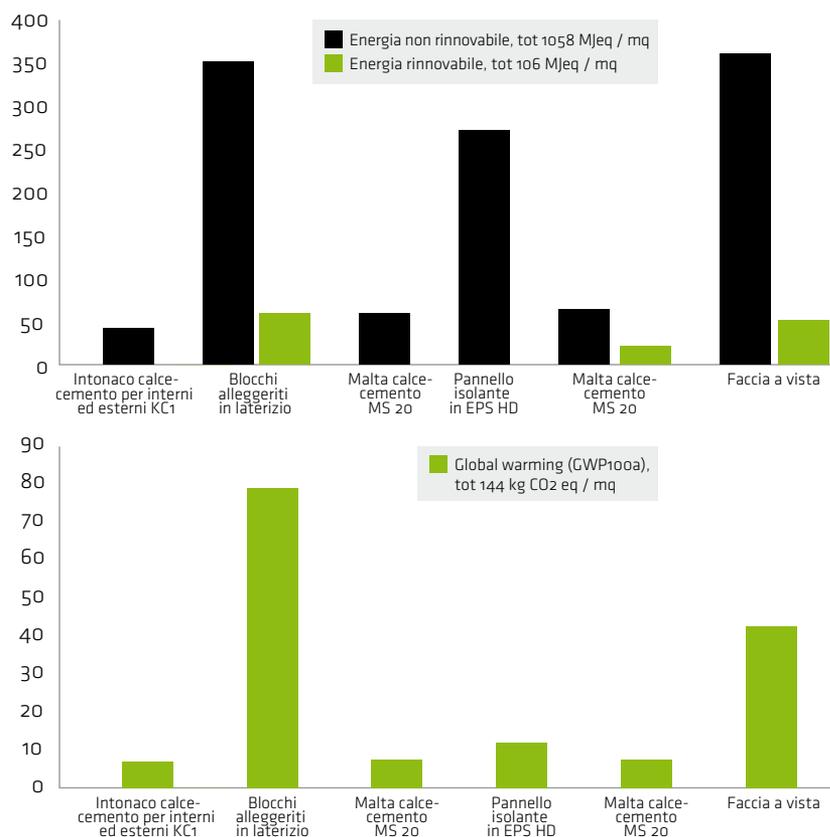
## Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista pieni

11

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

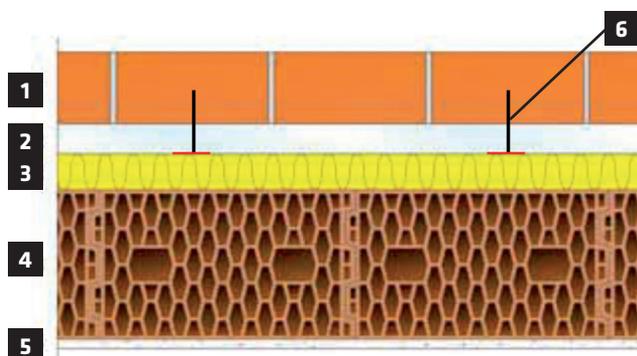
Tipologia	Parete di tamponamento
Disposizione	Verticale
Spessore	45 cm
Trasmittanza U	0,234 W/(m <sup>2</sup> K)
Resistenza R (senza intonaci)	4,273 (m <sup>2</sup> K)/W
Massa areica	391 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,061
Sfasamento	17h 23'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,018 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	42,00 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52,1 dB

### LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE



#### Legenda:

1. Mattone pasta molle faccia a vista, sp. 12 cm
2. Intercapedine d'aria non ventilata, sp. 3 cm
3. Isolante EPS Neopor, sp. 8 cm
4. Blocco alleggerito foratura 50%, sp. 20 cm
5. Intonaco di calce e gesso, sp. 2 cm
6. Graffaggi



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	50,5 cm
Trasmittanza U	0,220 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	409 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,030
Sfasamento	20h 33'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,007 W/(m <sup>2</sup> K)
REI	180
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	58 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	21 MPa

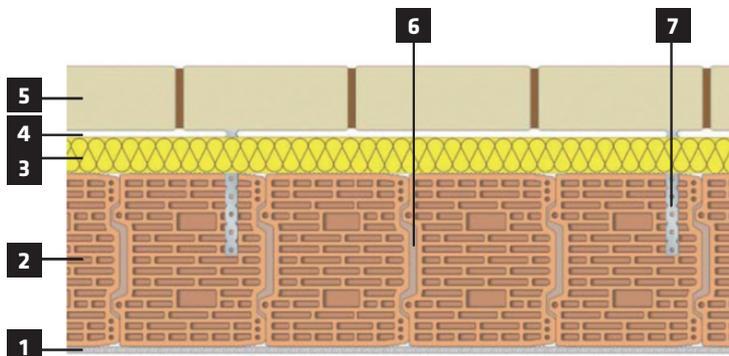
## Muratura termo-acustica con paramento in mattoni faccia a vista pieni

12

La muratura proposta rappresenta uno degli esempi più diffusi di tipologia costruttiva della tradizione italiana, realizzata con modalità e prodotti innovativi, in grado pertanto di garantire prestazioni strutturali e termo-acustiche ottimali. In questo caso, la muratura portante è composta da blocchi in laterizio alleggerito del tipo rettificato a incastro che consentono, attraverso l'impiego di malte speciali, semplicità e velocità di posa.

I mattoni faccia a vista in laterizio, del tipo "pasta molle", sono solidarizzati alla struttura portante tramite un sistema di graffaggi (5 per m<sup>2</sup> di superficie e 3 per ml in corrispondenza di giunti o di bordi liberi della muratura). L'impiego di un materiale termo-isolante, separato dal paramento esterno da un'intercapedine d'aria non ventilata per evitare fenomeni di condensazione ed un progressivo deterioramento delle prestazioni, garantisce idonei valori di trasmittanza termica.

Infine, l'elevata massa degli elementi in laterizio permette, da un lato, di esaltare l'inerzia termica dell'intera struttura assicurando un ottimo comfort abitativo termo-igrometrico (soprattutto in estate e nei climi tipicamente mediterranei), dall'altro, di ottenere elevati valori di potere fonoisolante a protezione dell'involucro dai rumori aerei esterni.

**Legenda:**

1. Strato interno con intonaco in calce e gesso sp. 1,5 cm
2. Blocco in laterizio rettificato a incastro (foratura 45%) sp. 25 cm
3. Strato di materiale isolante termico in fibra minerale sp. 8 cm
4. Intercapedine d'aria non ventilata sp. 4 cm
5. Mattoni pieni faccia a vista in laterizio sp. 12 cm
6. Tasche riempite con malta
7. Graffaggi

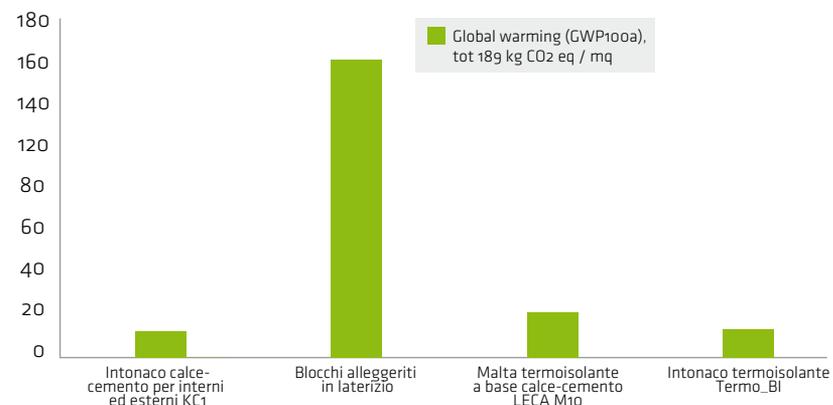
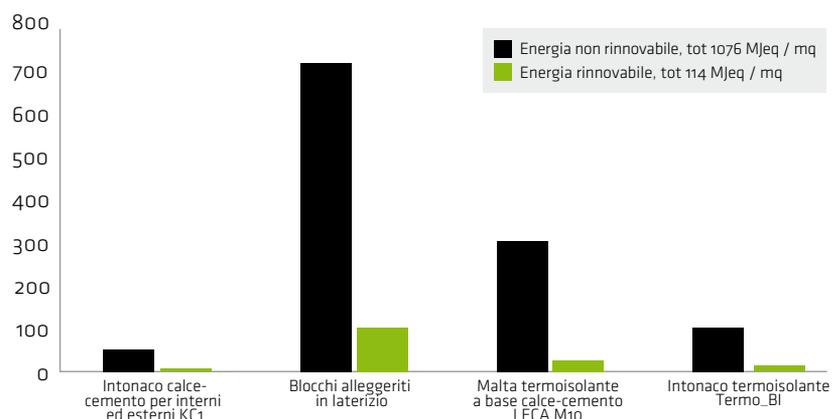
## Muratura portante monostrato

13

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

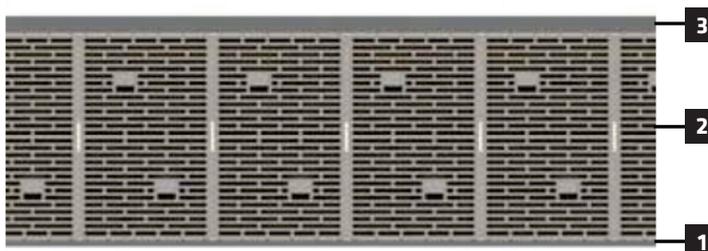
Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	45 cm
Trasmittanza U	0,246 W/(m²K)
Massa areica	405 kg/m²
Attenuazione	0,014
Sfasamento	>24h
Trasmittanza termica periodica $Y_{IE}$	0,003 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno $K_1$	21,90 kJ/m²K
REI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	52,2 dB
Resistenza meccanica $f_{bk}$	19,1 MPa

### LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE



#### Legenda:

1. Intonaco interno sp. 1,5 cm
2. Blocco portante per zona sismica in laterizio alleggerito in pasta (foratura 45%) sp. 40 cm
3. Intonaco esterno termo-isolante sp. 3,5 cm



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,242 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	432 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,009
Sfasamento	>27h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,002 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	39,40 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52,2 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	10 MPa

## Muratura portante monostrato con isolante integrato

14

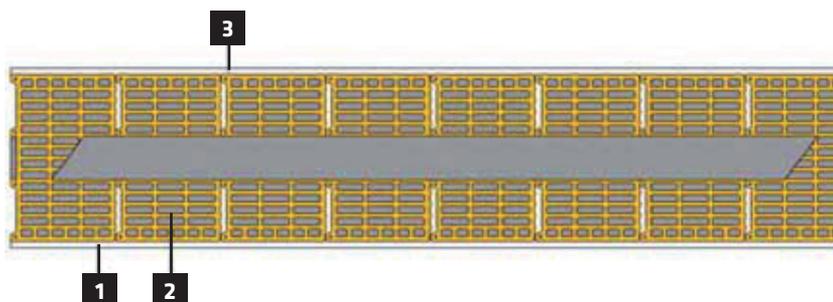
Blocchi ad alte prestazioni per murature portanti monostrato. Sono ottenuti inserendo, grazie ad un apposito processo produttivo, polistirene caricato di grafite all'interno delle cavità degli elementi di laterizio. Si ottengono pareti dalle ottime performance mediante la realizzazione, con malta tradizionale, di un unico paramento murario, ottimizzando e riducendo i costi di cantiere.

Gli elevati valori di resistenza meccanica, permettono di realizzare strutture portanti adatte a tutte le zone sismiche, in perfetto accordo con quanto stabilito dal D.M. 14/01/2008.

Le pareti realizzate, intonacate tradizionalmente, raggiungono una trasmittanza di 0,24 W/m<sup>2</sup>K. Lo strato esterno in laterizio protegge e mantiene inalterate nel tempo le prestazioni del materiale isolante contenuto nelle cavità del blocco. Inoltre, le fasce orizzontali e verticali di materiale isolante interrompono il giunto di malta, annullando il ponte termico.

L'elevata inerzia termica oltre a generare un ottimale comfort abitativo, porta ad una sensibile riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento estivo. I blocchi offrono un elevato comfort acustico, rispettando ampiamente i requisiti acustici passivi di facciata previsti di D.P.C.M. 05/12/1997.

Posa in opera normalizzata. Le fasce orizzontali e verticali di materiale isolante presenti sul blocco semplificano la posa in opera e permettono di realizzare giunti di malta di altezza costante, in quanto offrono un riscontro al corso di blocchi successivo.

**Legenda:**

1. Intonaco calce-cemento interno sp. 1,5 cm
2. Blocchi in laterizio con isolante integrato (foratura < 45%) sp. 40 cm
3. Intonaco calce-cemento esterno sp. 1,5 cm

## Muratura portante con blocchi a incastro con tasca di malta

15

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	45 cm
Trasmittanza U	0,266 W/(m <sup>2</sup> K)
Resistenza R (senza intonaci)	3,754 (m <sup>2</sup> K)/W
Massa areica	422 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,015
Sfasamento	>24h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>E</sub>	0,001 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	25,60 kJ/m <sup>2</sup> K
EI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	>54 dB

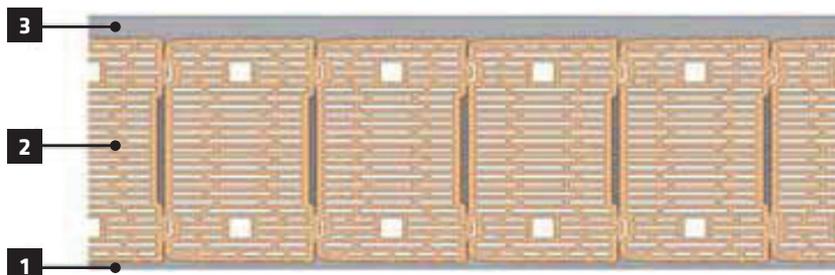
La soluzione proposta rappresenta una valida alternativa all'utilizzo del telaio in cemento armato. Il blocco rettificato a incastro, con la tasca opportunamente riempita dalla stessa malta speciale utilizzata nei corsi orizzontali, garantisce infatti elevate resistenze meccaniche per realizzare edifici in muratura portante anche in zone ad alta sismicità.

Si tratta di un'alternativa al telaio in cemento armato che consente di accelerare notevolmente i tempi di esecuzione in cantiere, nonché evitare tutti i ponti termici generati dai pilastri, ottenendo così un involucro termicamente omogeneo e più facile da coibentare.

L'elevata massa della muratura, inoltre, garantisce un confortevole benessere durante la stagione estiva, mentre la porizzazione e il disegno delle cartelle dei blocchi assicurano un involucro ben isolato anche nella stagione invernale. L'intonaco a base calce apporta un ulteriore miglioramento delle prestazioni termiche, nonché un'elevata traspirabilità del pacchetto murario, evitando così il rischio di condense interstiziali.

#### Legenda:

1. Termointonaco interno sp. 1,0 cm
2. Blocchi semipièni in laterizio alleggerito in pasta (foratura ≤ 45%) a incastro con tasca di malta sp. 40 cm
3. Termointonaco esterno sp. 4,0 cm



## CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

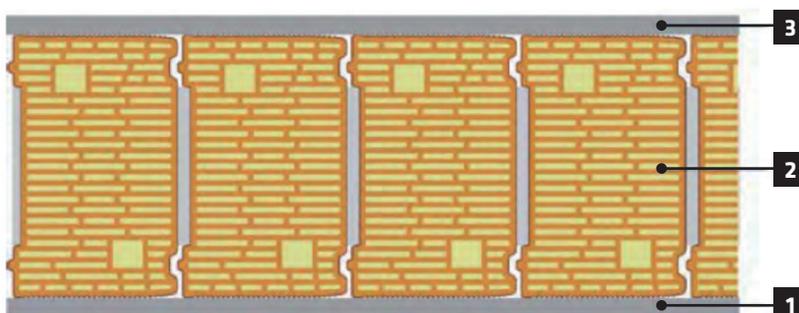
Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,240 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	405 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,020
Sfasamento	23h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,0048 W/(m <sup>2</sup> K)
REI	240
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	55 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	12 MPa

## Muratura portante con blocchi rettificati riempiti con lana minerale

16

La muratura proposta è costituita da elementi in laterizio ad incastro alleggeriti in pasta con perlite e farina di legno, con foratura 45%, conformi a quanto stabilito dalle NTC 2008, sottoposti a rettifica in fase di produzione. I fori dei blocchi sono riempiti con lana minerale in modo da migliorarne la coibenza termica e raggiungere un valore di trasmittanza (parete intonacata) di 0,240 W/m<sup>2</sup>K.

La presenza della lana minerale, oltre a migliorare l'isolamento termico, produce effetti positivi anche dal punto di vista della protezione acustica: la parete monostrato di laterizio riempito realizza, infatti, un abbattimento acustico di 55 dB.

**Legenda:**

1. Intonaco interno tradizionale sp. 1,5 cm
2. Blocchi rettificati a incastro (foratura 45 %) riempiti con lana minerale sp. 40 cm
3. Intonaco esterno tradizionale sp. 1,5 cm

## Muratura armata con isolante e paramento interno con tramezze a fori verticali e setti preincisi

17

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	53 cm
Trasmittanza U	0,246 W/(m²K)
Massa areica	472 kg/m²
Attenuazione	0,028
Sfasamento	>20h
Trasmittanza termica periodica $Y_{FE}$	0,007 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno $K_i$	47,30 kJ/m²K
REI	180
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	>50 dB
Resistenza meccanica $f_{bk}$	20 MPa

La “muratura armata” è entrata a far parte dei sistemi costruttivi ammessi con il D.M. 16/01/1996 ed ha trovato conferma anche con le successive evoluzioni normative (O.P.C.M. 3274/2003, D.M. 14/09/2005, D.M. 14/01/2008), dimostrando la sua validità grazie ai suoi numerosi vantaggi prestazionali ed economici.

Essa è stata infatti impiegata con successo in numerosi cantieri su tutto il territorio nazionale, tra cui il Veneto, il Trentino Alto Adige, l’Umbria, le Marche, l’Abruzzo e l’Emilia Romagna, in zone ad alto rischio sismico, sia per edilizia residenziale che scolastica.

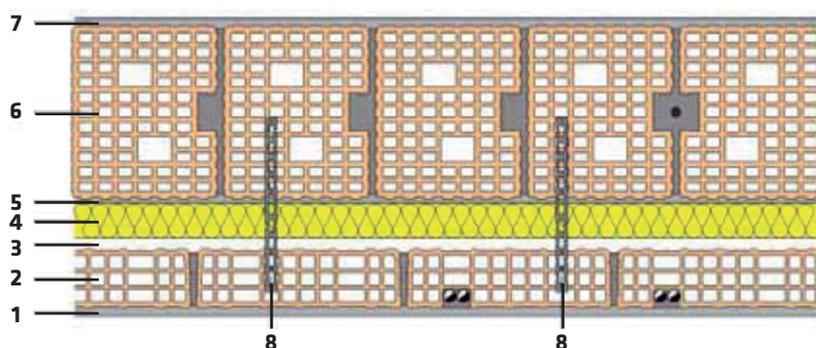
Tutti gli interventi hanno evidenziato la semplicità costruttiva decisamente superiore alle strutture intelaiate in cemento armato, aspetto questo che si traduce anche in risparmio economico.

La posa dei ferri non aumenta le difficoltà di cantiere, né incrementa in modo significativo i tempi di realizzazione della muratura; inoltre, scompaiono quasi del tutto gli oneri dovuti alla realizzazione della carpenteria.

La soluzione con paramento interno con tramezze pre-incise consente la protezione dell’isolante minerale e la realizzazione agevole delle cavità per gli alloggiamenti impiantistici senza intaccare la parte strutturale della muratura.

#### Legenda:

1. Intonaco interno sp. 1,5 cm
2. Tramezze pre-incise a fori verticali sp. 10 cm
3. Intercapedine d’aria non ventilata sp. 3 cm
4. Strato di materiale isolante termico in fibra minerale sp. 6 cm con barriera vapore lato interno
5. Intonaco di rinazzo sp. 1 cm
6. Blocchi semipieni (foratura ≤45%) sp. 30 cm
7. Intonaco esterno sp. 1,5 cm
8. Graffaggi



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	43 cm
Trasmittanza U	0,235 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	366 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,049
Sfasamento	16,56h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,012 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	48,4 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	57,5 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	10,4 MPa

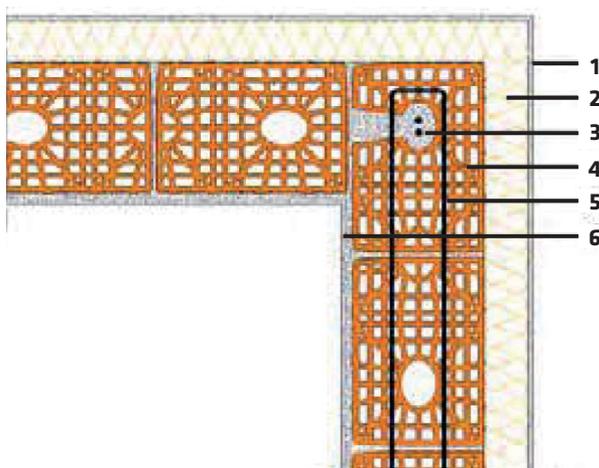
## Muratura portante armata con cappotto

18

Il sistema costruttivo proposto contraddistinto da una marcata libertà distributiva (elevate luci di solaio) senza l'ausilio di pilastri in c.a., permette la realizzazione di murature di laterizio portanti armate in qualsiasi zona sismica (NTC 2008).

I vantaggi continuano con la totale eliminazione dei ponti termici strutturali, i ridotti tempi di esecuzione (testati in cantiere) ed un comfort degli spazi abitati legato ad una maggiore (minore in estate) temperatura superficiale di parete. A parità di temperatura operante (20°C), la massività della soluzione costruttiva permette di aumentare (diminuire in estate) la temperatura interna dell'aria, con una conseguente diminuzione dei consumi energetici (inerzia termica).

Il pacchetto murario a cappotto presenta uno strato interno portante (elemento di laterizio con foratura < 45%) ed un pannello isolante esterno in lana di roccia fissato con idonea malta adesiva e tasselli meccanici. La stratigrafia raggiunge una trasmittanza termica di 0,235 W/m<sup>2</sup>K con valori di sfasamento (circa 17 h) e di attenuazione (0,049) che garantiscono un efficace rallentamento e smorzamento dell'onda termica, assicurando condizioni di comfort ottimali tutto l'anno.

**Legenda:**

1. Rasante esterno - sp. 0,5 cm
2. Pannello isolante in lana di roccia - sp. 10 cm
3. Ferro d'armatura verticale - diam. 16 mm
4. Blocchi per muratura armata in laterizio microalveolato - sp. 30 cm
5. Ferro d'armatura orizzontale - diam. 8 mm
6. Intonaco interno - sp. 2,5 cm

## Muratura portante armata pluristrato

19

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Muratura portante
Disposizione	Verticale
Spessore	46 cm
Trasmittanza U	0,234 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	358 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,052
Sfasamento	19,90 h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>E</sub>	0,012 W/(m <sup>2</sup> K)
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	42,20 kJ/m <sup>2</sup> K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	56,5 dB
Resistenza meccanica f <sub>bk</sub>	10,4 MPa

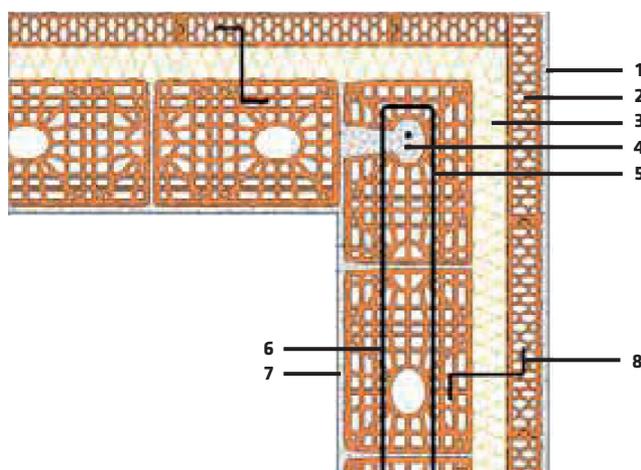
Il sistema costruttivo, contraddistinto da una marcata libertà distributiva (elevate luci di solaio) senza l'ausilio di pilastri in c.a., permette la realizzazione di murature di laterizio portanti armate in qualsiasi zona sismica (NTC 2008). Ulteriori vantaggi sono: totale eliminazione dei ponti termici strutturali, ridotti tempi di esecuzione (testati in cantiere) e comfort degli spazi abitati legato ad una maggiore (minore in estate) temperatura superficiale di parete.

A parità di temperatura operante (20°C), la massività della soluzione costruttiva permette di aumentare (diminuire in estate) la temperatura interna dell'aria, con una conseguente riduzione dei consumi energetici (inerzia termica).

Il pacchetto murario completo presenta uno strato interno portante (elemento di laterizio con foratura inferiore al 45%), un pannello isolante intermedio in fibra di legno ed un elemento di laterizio esterno, sempre con foratura minore di del 45%.

#### Legenda:

1. Intonaco sp. 1,5 cm
2. Blocchi ad incastro a fori verticali di laterizio alveolato - sp. 8 cm
3. Pannello isolante in fibra di legno - sp. 10 cm
4. Ferro d'armatura verticale - diam. 16 mm
5. Blocchi per muratura armata in laterizio microalveolato - sp. 25 cm
6. Ferro d'armatura orizzontale - diam. 8 mm
7. Intonaco sp. 1,5 cm
8. Staffa di ancoraggio



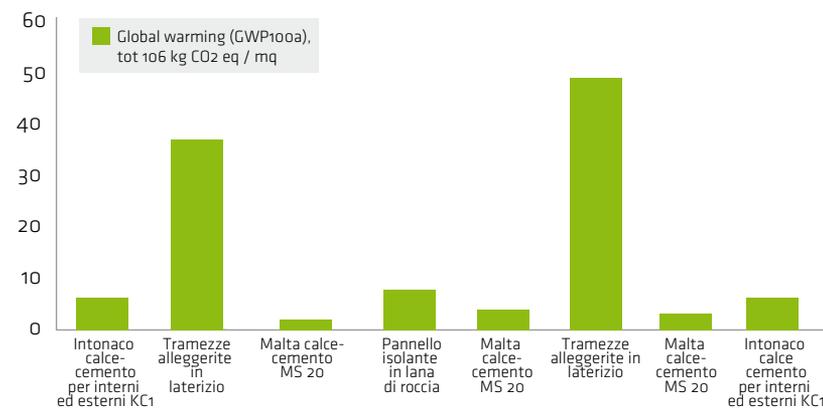
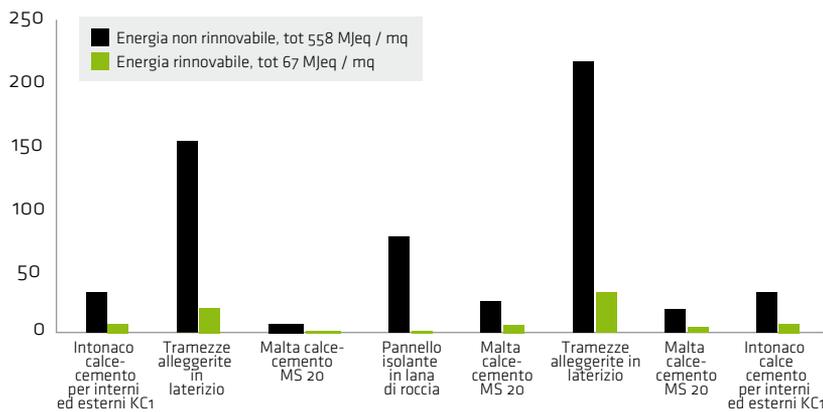
**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Divisorio
Disposizione	Verticale
Spessore	30 cm
Trasmittanza U	0,340 W/(m²K)
Massa areica	258 kg/m²
Attenuazione	0,190
Sfasamento	12 h 50'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,065 W/(m²K)
EI	180
Capacità termica periodica lato interno K <sub>i</sub>	50,00 kJ/m²K
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	55 dB

**Muratura pluristrato con tramezze preincise a incastro per divisori tra unità abitative**

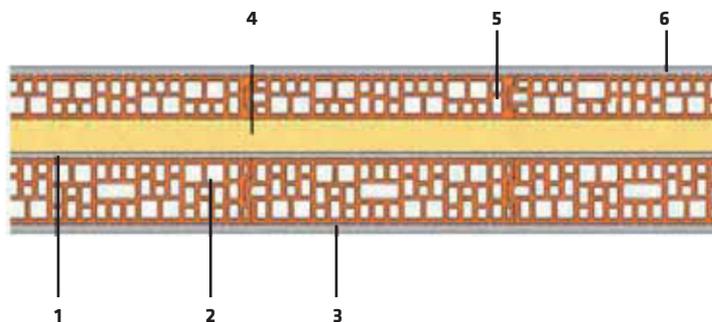
20

**LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE**



**Legenda:**

1. Intonaco interno calce-cemento sp. 1,5 cm
2. Tramezze preincise a incastro (foratura 45%) sp. 12 cm
3. Intonaco di rinzafo sp. 1 cm
4. Pannello isolante in lana di roccia sp. 6 cm
5. Tramezze preincise a incastro (foratura 45%) sp. 8 cm
6. Intonaco esterno calce-cemento sp. 1,5 cm



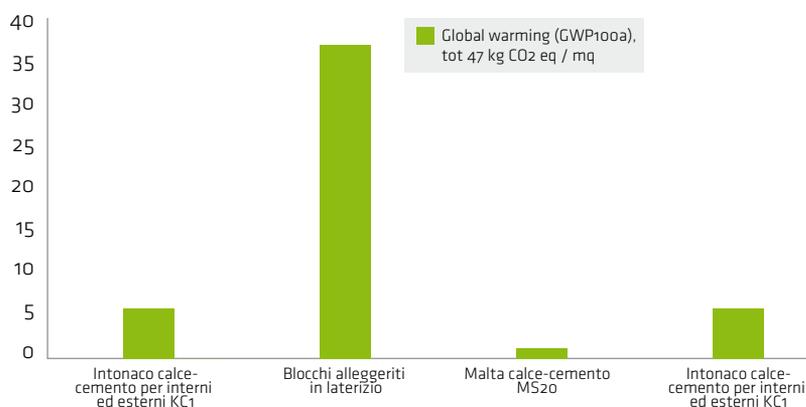
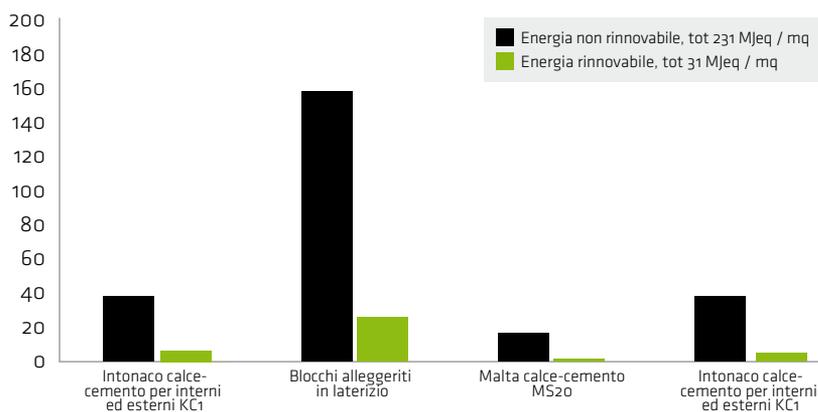
## Tramezza a fori verticali con giunti ad incastro

21

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

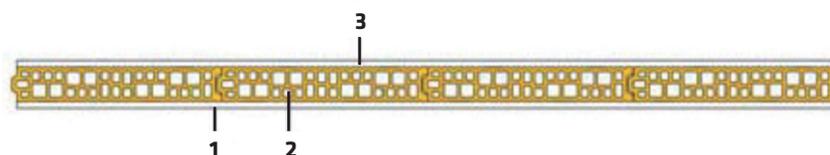
Tipologia	Divisorio
Disposizione	Verticale
Spessore	11 cm
Trasmittanza U	1,462 W/(m²K)
Massa areica	130 kg/m²
Attenuazione	0,738
Sfasamento	>4h
Trasmittanza termica periodica $Y_{IE}$	1,079 W/(m²K)
Capacità termica periodica lato interno $K_1$	49,50 kJ/m²K
Indice di valutazione del potere fono isolante $R_w$	42 dB

### LIFE CYCLE ASSESSMENT - CRADLE TO GATE



#### Legenda:

1. Intonaco calce-cemento sp. 1,5 cm
2. Tramezza a fori verticali (foratura < 45%) sp. 8,0 cm
3. Intonaco calce-cemento sp. 1,5 cm



## CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Solaio
Disposizione	Orizzontale
Spessore	45,8 cm
Trasmittanza U	0,380 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	680 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,040
Sfasamento	18 h 30'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,015 W/(m <sup>2</sup> K)
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L <sub>rw</sub>	≤ 60 dB
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	>54 dB

## Solaio in pannelli prefabbricati precompressi in latero-cemento

22

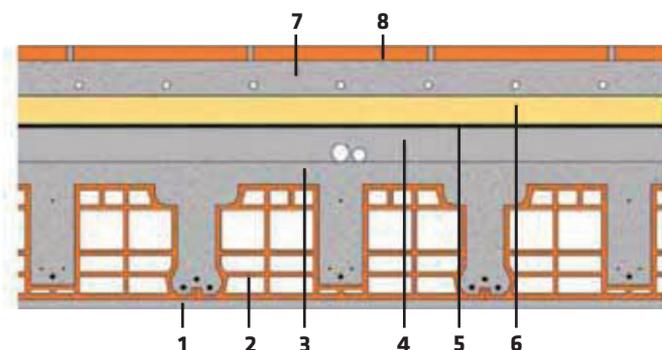
I pannelli precompressi in latero-cemento, leggeri e robusti, sono particolarmente idonei ad essere utilizzati in zona sismica. Sicuri nella movimentazione, autoportanti fino a 3,50 m, vengono prevalentemente impiegati per costruzioni di edilizia civile o per strutture di copertura piana.

Caratterizzati da una larghezza di 50 cm e altezze di 16, 20 e 24 cm, sono armati con barre in acciaio e con trecce da precompressione. Queste ultime sporgono di 15 cm da entrambe le estremità, permettendo così di realizzare un corretto ammorsamento dei pannelli con le travi ed i cordoli.

Inoltre, nel caso in cui l'armatura sia insufficiente rispetto al momento positivo, la stessa può essere integrata in opera con barre collocate tra un pannello e l'altro.

Il solaio viene poi completato con massetto alleggerito, membrana anticalpestio, eventuale sistema di riscaldamento a pavimento e pavimentazione, secondo le specifiche scelte progettuali, ottenendo in ogni caso un manufatto ad elevate prestazioni strutturali, acustiche, termiche e di resistenza al fuoco.

La pavimentazione in "cotto", grazie ad igroscopicità e massa, contribuisce al comfort interno degli ambienti, fornendo un utile contributo al controllo dei rumori da impatto.

**Legenda:**

1. Strato di rivestimento: intonaco calce-cemento sp. 1,5 cm
2. Pannello prefabbricato in latero-cemento precompresso sp. 20 cm
3. Cappa collaborante in calcestruzzo con rete elettrosaldata di ripartizione sp. 4 cm
4. Massetto alleggerito per l'alloggiamento dell'impianto idraulico ed elettrico sp. 6 cm
5. Membrana anticalpestio sp. 0,7 cm
6. Isolante termico con foglio protettivo in polietilene in sommità sp. 5 cm
7. Massetto flottante in calcestruzzo con riscaldamento a pavimento sp. 6 cm
8. Pavimentazione in piastrelle piene in "cotto" pretrattate sp. 2,6 cm

## Solaio con travetti tralicciati in latero-cemento

23

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Solaio
Disposizione	Orizzontale
Spessore	41,7 cm
Trasmittanza U	0,620 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	427 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,013
Sfasamento	14 h 30'
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L <sub>nw</sub>	51 dB
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	52 dB

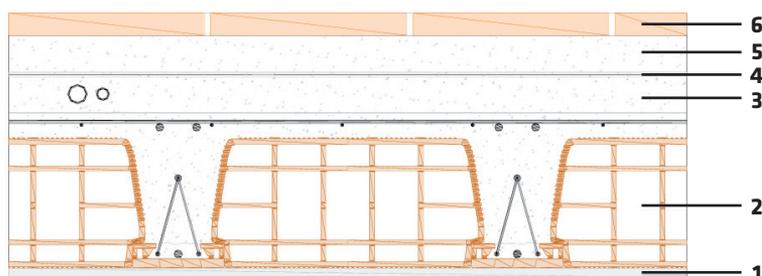
I solai in travetti tralicciati costituiscono una tipologia di impalcato con materiale di alleggerimento costituito da blocchi in laterizio (pignatte) di altezze diverse tali da creare delle nervature in c.a.o. che, con la soletta di estradosso, costituiscono la sezione in calcestruzzo reagente. L'interasse è pari a 52 cm, mentre l'altezza può variare in funzione delle pignatte in commercio (generalmente da 12 a 30 cm).

I vantaggi associati a questa tipologia di solai sono molteplici (versatilità nelle lavorazioni di cantiere e di impiego, leggero, continuità di materiale all'intradosso, ecc) hanno fatto sì che diventasse il solaio maggiormente utilizzato nel mondo delle costruzioni civili.

Il solaio strutturale viene poi completato con massetto alleggerito, membrana anticalpestio, eventuale sistema di riscaldamento a pavimento e pavimentazione, secondo le specifiche scelte progettuali, ottenendo in ogni caso un manufatto ad elevate prestazioni strutturali, acustiche, termiche e di resistenza al fuoco. La pavimentazione in "cotto", grazie ad igroscopicità e massa, contribuisce al comfort interno degli ambienti, fornendo un utile contributo al controllo dei rumori da impatto.

#### Legenda:

1. Strato di rivestimento: intonaco per interni sp. 1,5 cm
2. Solaio in travetti tralicciati in latero-cemento: interasse nervature 52 cm - altezza pignatta = 20 cm e sovrastante cappa collaborante in calcestruzzo con rete elettrosaldata sp. 4 cm
3. Massetto alleggerito per l'alloggiamento degli impianti sp. 6 cm
4. Membrana anticalpestio
5. Massetto con impianto di riscaldamento a pavimento sp. 6 cm
6. Pavimentazione in piastrelle a mano in laterizio sp. 3,5 cm



## CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Solaio
Disposizione	Orizzontale
Spessore	41,7 cm
Trasmittanza U	0,640 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	497 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,011
Sfasamento	14 h 28'
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L <sub>nw</sub>	52 dB
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	53 dB

## Solaio bidirezionale con travetti tralicciati in latero-cemento

24

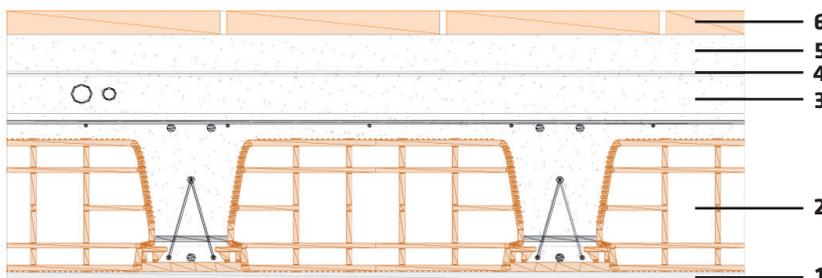
Il solaio in travetti tralicciati bidirezionale rappresenta un'innovazione nella categoria degli impalcati con materiale di alleggerimento costituito da blocchi in laterizio (pignatte) di altezze diverse: in questo tipo di solaio si creano delle nervature incrociate in c.a.o. che, con la soletta di estradosso, costituiscono la sezione in calcestruzzo reagente. L'interasse dei travetti tralicciati è pari a 52 cm, ortogonalmente può essere ottimizzato in funzione delle luci, mentre l'altezza può variare in funzione delle pignatte (da 12 a 30 cm).

I vantaggi associati a questa nuova tipologia di solaio (rispetto alla soluzione monodirezionale) sono molteplici a cominciare da una migliore ripartizione dei carichi di progetto sulle strutture verticali, riduzione dell'altezza a parità di luce e carico portato, riduzione della deformabilità, ecc.

Il solaio strutturale viene poi completato con massetto alleggerito, membrana anticalpestio, eventuale sistema di riscaldamento a pavimento e pavimentazione, secondo le specifiche scelte progettuali, ottenendo in ogni caso un manufatto ad elevate prestazioni strutturali, acustiche, termiche e di resistenza al fuoco. La pavimentazione in "cotto", grazie ad igroscopicità e massa, contribuisce al comfort interno degli ambienti, fornendo un utile contributo al controllo dei rumori da impatto.

**Legenda:**

1. Strato di rivestimento: intonaco per interni sp. 1,5 cm
2. Solaio in travetti tralicciati in latero-cemento: interasse travetti 52 cm - interasse nervature ortogonali variabile - altezza pignatta = 20 cm e sovrastante cappa collaborante in calcestruzzo con rete elettrosaldata sp. 4 cm
3. Massetto alleggerito per l'alloggiamento degli impianti sp. 6 cm
4. Membrana anticalpestio
5. Massetto con impianto di riscaldamento a pavimento sp. 6 cm
6. Pavimentazione in piastrelle a mano in laterizio sp. 3,5 cm



## Solaio in pannelli prefabbricati tralicciati in latero-cemento

25

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Solaio
Disposizione	Orizzontale
Spessore	41 cm
Trasmittanza U	0,620 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	545 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,130
Sfasamento	14 h 30'
REI	180
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L <sub>nw</sub>	44 dB

Il sistema a pannelli prefabbricati rappresenta un sistema costruttivo per realizzare solai all'insegna della sicurezza in cantiere, della velocità e flessibilità di posa. Con una modesta attrezzatura di sollevamento e limitato personale rende agevole, quindi economica, l'esecuzione. I pannelli vengono direttamente posti in opera affiancandoli l'uno all'altro a mezzo di apposito bilancino.

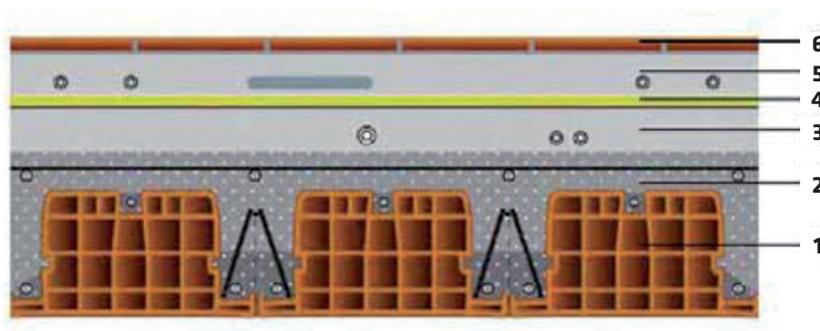
L'impalcato, una volta eseguito, si presenta come una superficie continua, semplicemente puntellata: garantisce, pertanto, la massima sicurezza degli operatori escludendo rischi di caduta. Il getto di completamento richiede quantità minime di calcestruzzo assicurando un evidente risparmio.

I pannelli vengono prodotti con particolari blocchi in laterizio di conformazione idonea a formare nervature portanti più larghe (10 cm) rispetto alle soluzioni correnti, poste ad interasse di 40 cm, in grado di resistere meglio alle sollecitazioni da taglio, in ottemperanza al D.M. del 14.1.2008. Inoltre, i tralicci spaziali, in acciaio, delle nervature garantiscono un miglior collegamento tra le file di laterizi rispetto ai pannelli tradizionali e una perfetta aderenza tra il calcestruzzo del prefabbricato ed il successivo getto di completamento.

Ogni pannello presenta una larghezza standard di 120 cm, con lunghezza variabile a seconda dell'orditura delle travi di carpenteria, fino ad una luce massima di 8,50 m.

#### Legenda:

1. Pannello prefabbricato in latero-cemento tralicciato: interasse nervature 40 cm, pignatta h = 20 cm
2. Getto di completamento in calcestruzzo
3. Massetto portaimpanti
4. Sistema di isolamento anticalpestio in fibra minerale
5. Massetto con impianto di riscaldamento a pavimento
6. Rivestimento con piastrelle in laterizio formate a mano sp. 1,8 cm



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Involucro
Disposizione	Verticale
Spessore	51 cm
Trasmittanza U	0,271 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	299 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,050
Sfasamento	17 h 12'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,014 W/(m <sup>2</sup> K)

**Parete ventilata con tavella in laterizio****26**

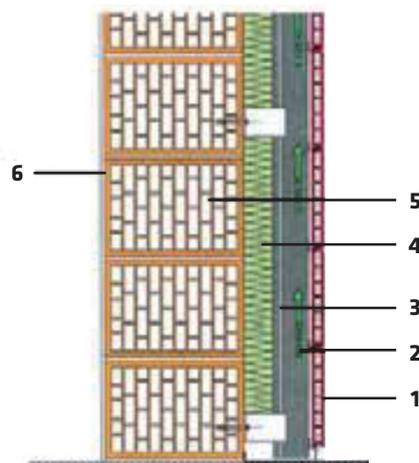
Il sistema di parete ventilata in laterizio si rivela adatto a molteplici applicazioni, sia nel campo della nuova produzione edilizia che nella riqualificazione del patrimonio esistente.

L'involucro edilizio non è più semplice elemento di separazione tra interno ed esterno, ma diviene contenitore di funzioni articolate e complesse (ventilazione, comfort abitativo, impianti tecnici ispezionabili, protezione dagli agenti atmosferici, qualificazione e riqualificazione estetica, contenimento dei costi di manutenzione, risparmio energetico, facilità nella sostituzione, ecc.), tra loro efficacemente integrate.

La facciata ventilata è costituita da uno strato di rivestimento in laterizio vincolato all'edificio per mezzo di una apposita struttura d'ancoraggio installata "a secco".

I principali benefici dei sistemi di pareti ventilate in laterizio sono:

- facilità di posa in opera e manutenzione
- durabilità nel lungo periodo
- diminuzione dei consumi energetici
- vantaggi igrotermici e comfort abitativo (smorzamento e sfasamento dell'onda termica, eliminazione dei ponti termici, controllo della condensazione interstiziale, protezione acustica, schermatura delle parti trasparenti)
- protezione della struttura dagli agenti atmosferici
- molteplici possibilità d'espressione architettonica.

**Legenda:**

1. Rivestimento con tavella estrusa in laterizio faccia a vista sp. 3 cm
2. Profili in acciaio inox per montaggio a secco della tavella estrusa in laterizio
3. Intercapedine d'aria sp. 9 cm
4. Pannelli coibenti di legno accoppiato a lana di roccia 1+5,5+1 cm (densità 200 kg/m<sup>3</sup>)
5. Blocchi in laterizio alleggerito (foratura 60%) sp. 30 cm
6. Intonaco di calce e gesso per interni sp. 1,5 cm

## Involucro ventilato in laterizio con montaggio a secco degli elementi

27

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

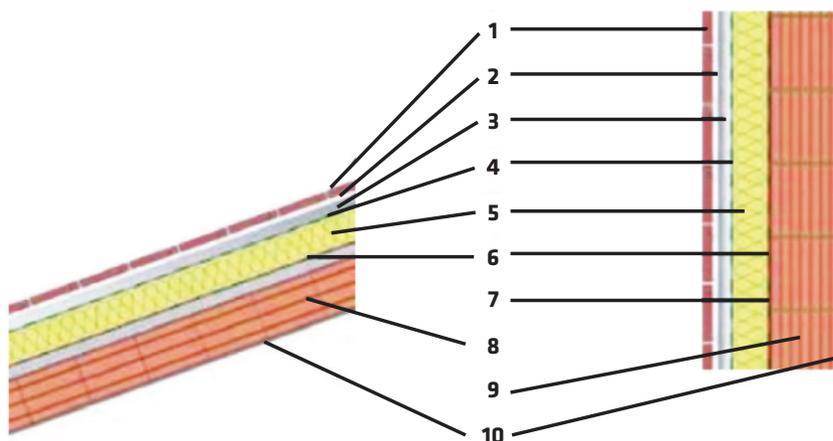
Tipologia	Involucro
Disposizione	Verticale
Spessore (rivestimento ventilato)	10 cm
<i>Disposizione verticale</i>	
Spessore complessivo con parete interna in laterizio di 25 cm	47 cm
Trasmittanza U	0,240 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	304 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,103
Sfasamento	14h 34'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,025 W/(m <sup>2</sup> K)
Indice di valutazione del potere fonoisolante R <sub>w</sub>	52 dB
<i>Disposizione orizzontale inclinata</i>	
Spessore complessivo con parete interna in laterizio di 25 cm	48 cm
Trasmittanza U	0,272 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	394 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,156
Sfasamento	12h 59'
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,042 W/(m <sup>2</sup> K)

Il sistema consente di realizzare involucri a secco ventilati con rivestimento di lastre in cotto a pasta molle, caratterizzati da tre grandi vantaggi: migliore isolamento termico, risparmio energetico e grande impatto estetico. La soluzione tipo analizzata è una parete portante in blocchi di laterizio intonacata su entrambi i lati ed un solaio in latero-cemento intonacato all'intradosso.

Lo strato isolante è protetto da un telo con funzione di membrana traspirante impermeabile. Una lamiera grecata è ancorata alla parete/solaio portante tramite tasselli, ottenendo così un elemento di supporto continuo e una camera d'aria tra il rivestimento esterno e la parete/solaio interno. Sulla struttura è posto un rivestimento di lastre in laterizio a pasta molle, sostenute da appositi profili metallici agganciati alla lamiera grecata.

#### Legenda:

1. Lastre in laterizio in pasta molle (16x47x3 cm) sp. 3 cm
2. Sottostruttura sp. 2 cm
3. Lamiera grecata sp. 5 cm
4. Membrana traspirante impermeabile
5. Pannello isolante in lana di roccia sp. 10 cm
6. Membrana freno vapore
7. Intonaco sp. 1 cm
8. Solaio in latero-cemento sp. 25 cm
9. Blocco di laterizio sp. 25 cm
10. Intonaco sp. 1,5 cm



## CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Copertura
Disposizione	Inclinata
Spessore	50 cm
Trasmittanza U	0,214 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	567 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,0989
Sfasamento	>12h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,006 W/(m <sup>2</sup> K)
Indice di valutazione del potere fono isolante R <sub>w</sub>	55 dB
Potenza singola tegola fotovoltaica	8,0 Wp
Modulo fotovoltaico	Silicio monocristallino
Superficie necessaria per kW	1 kW/10,5 m <sup>2</sup>
Rendimento cella S.T.C.	15,3%
Incapsulamento	Vetro/Eva/Eva/Tedlar
Scatola di derivazione	Waterproof con diodo di by-pass

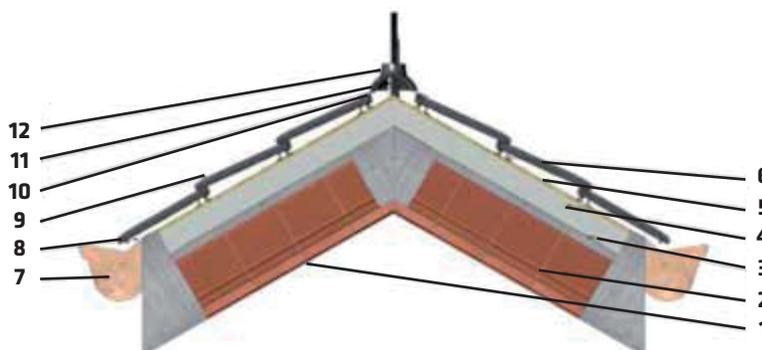
## Copertura ventilata con solaio in latero-cemento

28

La copertura esterna inclinata proposta è di tipo ventilato, da utilizzarsi nel caso di spazio abitabile, in linea dunque con la prassi corrente di rendere vivibile il sottotetto garantendo il comfort interno dello stesso. Lo strato strutturale della copertura è realizzato mediante un solaio in latero-cemento, al di sopra del quale sono posti gli strati necessari al raggiungimento dei valori richiesti per la coibentazione, la ventilazione e la sicurezza, secondo la UNI 795, UNI 9460, il D.Lgs. 311/06, il D.P.R. n.59 e smi.

Nell'esempio proposto un eccellente isolamento termico e un solidissimo sistema di ancoraggio meccanico di tutti gli elementi costituiscono un unicum particolarmente solido, in grado di resistere alle sollecitazioni meccanica derivanti da vibrazioni e scosse sismiche anche di forte intensità: i pannelli di coibente sono ancorati meccanicamente al solaio con tasselli ad espansione ad alta tenuta e i listelli metallici porta tegole sono a loro volta ancorati parte all'OSB accoppiato ai pannelli e parte direttamente al solaio portante. Viti autofilettanti in acciaio ancorano le tegole piane fotovoltaiche ai listelli metallici.

Per la finitura del tetto è importante usare gli specifici pezzi speciali in cotto, compresi gli accessori previsti per una corretta ventilazione quali il colmo ventilato e le griglie fermapasseri da porre in prossimità delle aperture di ventilazione, elementi indispensabili per il corretto funzionamento di una copertura ventilata. Non bisognerà dimenticare i dispositivi anticaduta come da normative vigenti. La stratigrafia in oggetto presenta una trasmittanza di 0,214 W/(m<sup>2</sup>K) e uno sfasamento dell'onda termica > 12 h.

**Legenda:**

1. Strato di rivestimento interno: intonaco calce-cemento sp. 1,5 cm
2. Solaio latero-cemento sp. 6+24+4 cm
3. Elemento di tenuta all'aria e freno vapore
4. Pannello isolante in EPS100 Neopor sp. 12 cm accoppiato a OSB3 sp. 1,2 cm
5. Listelli lignei autoclavati in doppio strato incrociato di interposizione ai pannelli isolanti sp. 8x6 cm
6. Guaina impermeabilizzante traspirante
7. Listello in metallo forato per l'ancoraggio e la ventilazione del manto in "cotto"
8. Grondaia
9. Griglia metallica fermapasseri di gronda con funzione di rialzo della prima fila di tegole
10. Tegole piane fotovoltaiche con foro per il fissaggio ai listelli in metallo
11. Colmo ventilato in inox e bandelle laterali in alluminio
12. Palo di ancoraggio in acciaio inox per linea vita
13. Coppessa con cono di uscita per palo linee vita

## Copertura con tegole in laterizio e impianto fotovoltaico integrato

29

### CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

Tipologia	Copertura
Disposizione	Inclinata
Spessore (esclusa struttura portante)	31 cm
Trasmittanza U	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)

La soluzione è caratterizzata dalla perfetta integrazione architettonica dell'impianto fotovoltaico nel manto di copertura in laterizio costituito sia da tegole che da coppi. Il pacchetto di copertura è indicato per nuove realizzazioni e rifacimenti in presenza di strutture continue. Può essere montato a partire dai 12° (21% di pendenza) fino ad arrivare ai 65°.

Il sistema di montaggio garantisce l'assoluta impermeabilità del campo fotovoltaico senza che sia necessario inserire alcun altro elemento per l'impermeabilizzazione.

Il particolare sistema di incastro dei moduli a "scandola" consente la retroventilazione dei pannelli che, mantenendo un flusso costante d'aria, ottimizza la temperatura di esercizio e offre rendimenti anche del 30% superiori alla media, oltre a consentire lo smaltimento della condensa.

La membrana traspirante disposta sopra l'isolante assicura il passaggio del vapore acqueo e previene le infiltrazioni di acqua anche nelle condizioni climatiche più avverse, grazie alla banda adesiva nei punti di sovrapposizione.

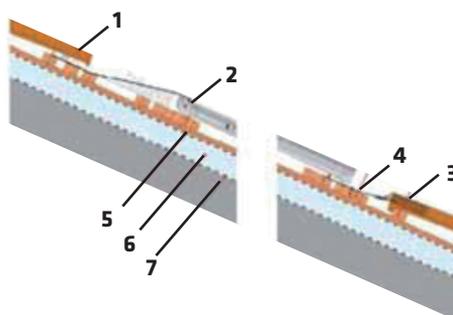
Lo schermo per il controllo del vapore disposto sotto l'isolante, permette il passaggio controllato del vapore acqueo e previene le infiltrazioni di acqua anche nelle condizioni climatiche più avverse, grazie alle due bande adesive nei punti di sovrapposizione.

#### Legenda:

1. Manto di copertura in tegole di laterizio.
2. Impianto fotovoltaico totalmente integrato nel manto di copertura
3. Listellatura in legno per aggancio tegole sp. 4x4 cm
4. Tavola ausiliaria in legno per fissaggio moduli fotovoltaici
5. Membrana impermeabilizzante traspirante in 4 strati di polipropilene con rete di rinforzo
6. Pannello in polistirene espanso estruso sp. 16 cm con listello in legno integrato di cm 4x4 per ventilazione sottotegola
7. Membrana impermeabilizzante freno vapore a 3 strati; Massa Areica pari a 145 gr/m<sup>2</sup> e Sd= 2 m

Il pannello isolante in polistirene espanso estruso XPS, dotato di listello in legno integrato, garantisce flessibilità e velocità di posa e consente il fissaggio meccanico delle tegole.

La battentatura ad "L" sui quattro lati impedisce la formazione di ponti termici. La camera di ventilazione (> 2cm) è realizzata con un listello metallico antivoltatile in corrispondenza della linea di gronda e con un sottocolmo ventilato da posizionare sul colmo e nei displuvi, che costituisce inoltre un'efficace barriera contro le infiltrazioni d'acqua.



**CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI**

Tipologia	Copertura
Disposizione	Inclinata
Spessore	42,5 cm
Trasmittanza U	0,318 W/(m <sup>2</sup> K)
Massa areica	365 kg/m <sup>2</sup>
Attenuazione	0,199
Sfasamento	>9 h
Trasmittanza termica periodica Y <sub>IE</sub>	0,063 W/(m <sup>2</sup> K)

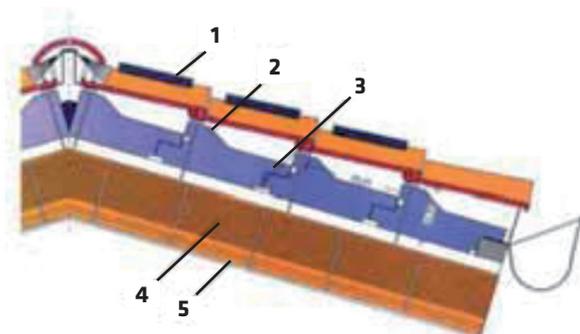
**Copertura  
in laterizio con  
tegole solari****30**

La stratigrafia di copertura integra il tradizionale manto di tegole in laterizio con un sistema di pannelli coibenti in polistirene espanso sinterizzato EPS (con aggiunta di grafite) che consente di raggiungere valori di conducibilità termica molto bassi con conseguenti livelli di trasmittanza maggiormente performanti.

La particolare doppia tegola in laterizio per l'alloggiamento della cella fotovoltaica, realizzata sulla base della tegola portoghese classica, consente un inserimento in maniera perfetta all'interno del manto di copertura. Per ottenere una potenza energetica di 1 kW/h occorrono 84 tegole fotovoltaiche.

La presenza della ventilazione e la possibilità di montaggio a secco permettono:

- in inverno, la circolazione dell'aria che mantiene l'isolante sempre arieggiato, quindi asciutto, evitando il formarsi di condense all'interno della camera di ventilazione. Questo consente al materiale di conservare intatto il suo potere coibente che, nelle soluzioni ordinarie senza ventilazione, potrebbe essere penalizzato anche dell'80%. Infatti, la camera di ventilazione, essendo una ulteriore intercapedine particolarmente
- efficace in presenza di temperature molto basse, favorisce un rapido smaltimento dell'acqua assorbita dalle tegole durante le piogge e lo smaltimento del vapore acqueo che potrebbe risalire dagli ambienti sottotetto;
- in estate, grazie all'aria della camera di ventilazione che si riscalda per effetto dell'irraggiamento, una corrente ascensionale che fuoriesce dagli sfiiati posti sulla linea di colmo, con l'eliminazione del calore accumulato sul manto di copertura, limitandone il passaggio verso l'interno dell'edificio. Questo contribuisce notevolmente al controllo igrotermico ed al comfort degli ambienti sottotetto, con un risparmio notevole nell'utilizzo di impianti di climatizzazione.

**Legenda:**

1. Manto di copertura in tegole di laterizio con alloggiamento per cella fotovoltaica
2. Pannello isolante in EPS con grafite sp. 8 cm
3. Telo freno vapore in tre strati di polipropilene (245 kg/m<sup>2</sup>)
4. Solaio in latero-cemento sp. 20+4 cm con travetti prefabbricati in laterizio
5. Intonaco in calce e cemento sp. 1,5 cm

## 1|2 LA CASA NZEB: UNA PROPOSTA PER IL CLIMA MEDITERRANEO

di **Costanzo Di Perna**, *Professore Associato, DIISM, Università Politecnica delle Marche* e **Lorenza Fantini**, *PhD Libero professionista*

Negli ultimi mesi, i tecnici ed i ricercatori che si occupano di risparmio energetico degli edifici stanno lavorando per identificare possibili modelli di edifici a consumo di Energia Quasi Zero, i cosiddetti NZEB (Nearly Zero Energy Building), adatti al contesto climatico italiano. Essi dovranno quindi definire i parametri e le prescrizioni da inserire nei decreti attuativi della Legge 90/2013 [1], emanata per rispondere alle richieste dell'Unione Europea, al fine di individuare il nuovo scenario, al 2020, della progettazione energetica degli edifici. Il punto di partenza per definire tali parametri è lo stato dell'arte raggiunto nella costruzione di edifici a basso consumo. L'obiettivo della ricerca dell'Università Politecnica delle Marche (AN) che, viene qui presentata con la necessaria sintesi, consisteva nell'individuare il percorso per riuscire ad identificare un modello di edificio NZEB che potesse raggiungere dapprima fabbisogni di energia primaria molto bassi, attraverso la riduzione del fabbisogno utile dell'edificio (intorno ai 30/40 kWh/m<sup>2</sup>a per il solo riscaldamento) e successivamente annullare quest'ultimo mediante l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili. Le prestazioni energetiche di tale edificio, come ben chiarito nella normativa, non potranno prescindere dallo studio del suo costo globale di costruzione. Parte fondante dello studio è stata quindi una valutazione "cost-optimal", illustrata in dettaglio nell'articolo "Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica" [2].

### La nuova Direttiva Europea EPBD recast

La nuova Direttiva Europea EPBD recast [3], all'articolo 1, promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici che si trovano all'interno dell'Unione Europea, specificando che si deve tener conto sia delle prescrizioni relative al comfort degli ambienti interni, sia delle condizioni climatiche specifiche di ciascuno stato membro, senza però dimenticare l'aspetto dei costi che tali prestazioni richiedono. All'articolo 5, stabilisce che gli Stati membri devono calcolare i livelli ottimali dei requisiti minimi di prestazione energetica in funzione dei costi, e comparare tali risultati con i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi in vigore nel proprio Paese. A recepimento di tale Direttiva, l'Italia ha emanato il Decreto Legge 63 del 2013, successivamente convertito nella Legge 90/2013, [1] con cui si introducono i concetti di edificio a energia quasi zero e quello di "edificio di riferimento". L'edificio a energia quasi zero viene definito come un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico risulta molto basso o quasi nullo, ed è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema.

In mancanza di indicazioni più accurate sulle caratteristiche termiche e sui parametri energetici del futuro edificio NZEB, con questa ricerca si vuole fornire un esempio concreto agli operatori del settore, individuando molteplici possibili stratigrafie di involucro, caratterizzate sia da adeguati valori di trasmittanza che da ottimale capacità termica, tenendo conto dell'importanza che nel nostro paese riveste una valutazione di confort in fase estiva. La ricerca ha dovuto quindi necessariamente trarre il quadro normativo

attuale, non ancora completamente definito in mancanza dei decreti attuativi della L. 90/2013, così da individuare un “best case” a consumo energetico quasi nullo, vicino agli standard tipologici in uso nel nostro paese, ma con elementi costruttivi in grado di fornire standard energetici e di comfort più elevati. Il percorso progettuale ha previsto, quindi, l’identificazione di un edificio “tipo” da ottimizzare per raggiungere l’obiettivo “NZEB”, in primis riducendone i consumi energetici, per poi introdurre un sistema impiantistico ad alta efficienza e fonti rinnovabili (ad es. impianto fotovoltaico associato ad una pompa di calore, solare termico per l’acqua calda sanitaria, ecc.) per annullare il fabbisogno energetico.

## Il caso studio

Tra le varie tipologie di edificio di riferimento che sono richieste dalla Direttiva Europea, ovvero abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio ed edificio ad uso uffici, si è scelto di analizzare uno dei casi più diffusi sul territorio italiano: quello del piccolo condominio. In particolare, si è scelto un edificio di edilizia economico popolare (social housing), realizzata da ACER (Azienda Casa di Reggio Emilia) nel 2005 (quindi antecedente all’emanazione del D.Lgs. 192/05) ed avente un consumo energetico di poco superiore ai 70 kWh/m<sup>2</sup>a, ovvero in classe energetica D. Il caso studio scelto ben rappresenta il tipico condominio residenziale ed è a tutti gli effetti da considerarsi un caso di edilizia low cost. Inoltre l’edificio preso in considerazione è dotato di elementi costruttivi tipici della tradizione mediterranea quali solai e pareti in laterizio.

Per adeguare l’edificio scelto ai nuovi standard energetici, si sono operate delle modifiche a livello geometrico e costruttivo, in particolare:

- ampliamento delle dimensioni delle finestre di 20 cm in larghezza;
- riduzione delle trasmittanze delle chiusure verticali comprensive di infissi a 1,4 W/m<sup>2</sup>K;
- inserimento di un ulteriore piano non riscaldato destinato a soffitte;
- incremento del numero dei piani (da due a tre) per ottenere una tipologia maggiormente diffusa sul territorio italiano;
- aumento dell’isolamento del solaio verso i garage, fino ad una trasmittanza di 0,21 W/m<sup>2</sup>K.

Questi cambiamenti hanno permesso di ridurre il rapporto S/V dell’edificio al valore di 0,485 m<sup>-1</sup>. Non si è proposto un ulteriore aumento del numero di piani dell’edificio, per tenere conto della effettiva rappresentatività tecnologica dell’edificio. Inoltre un elevato numero di piani richiede l’introduzione sostanzialmente obbligata di un ascensore con i relativi costi energetici che questa soluzione necessariamente introduce. In tabella 1 sono state riassunte le principali caratteristiche geometriche e costruttive dell’edificio oggetto di analisi. Vengono anche descritte le caratteristiche delle strutture edilizie che compongono l’edificio ad eccezione di quelle delle strutture esterne verticali, che sono riportate in tabella 2.

## La metodologia di analisi

Il primo obiettivo dello studio è stato la definizione di un involucro edilizio che potesse al meglio rispondere alle esigenze della citata Direttiva Europea ed alle problematiche di comfort in fase estiva tipiche del clima mediterraneo, solo successivamente si è focalizzata l’attenzione anche sugli aspetti impiantistici.

**Tab. 1** Caratteristiche geometriche e costruttive dell’edificio oggetto di analisi.

### DATI GENERALI

**Località:** Bologna  
**Altitudine:** 54 m s.l.m.  
**Latitudine:** 40° 30' 27"  
**Longitudine:** 11° 21' 05"  
**Gradi giorno:** 2259  
**Zona climatica:** E  
**Destinazione d’uso:** Residenziale  
**Tipologia:** Piccolo condominio  
**Intervento:** Nuova costruzione  
**Volume lordo riscaldato:** 3.827 m<sup>3</sup>  
**Superficie esterna che delimita lo spazio riscaldato:** 2.013 m<sup>2</sup>  
**S/V:** 0,526  
**Sup. calpestabile:** 922 m<sup>2</sup>  
**N. piani climatizzati:** 3  
**Altezza interna netta:** 2,70 m  
**N. unità immobiliari:** 14

### DATI COSTRUTTIVI

#### 24 stratigrafie caratterizzate da:

**Chiusura verticale opaca** Pareti monostrato in laterizio portanti e non • pareti multistrato in laterizio con isolamento in intercapedine • pareti multistrato in laterizio con isolamento a cappotto • una parete in legno.  
**Chiusura verticale trasparente** Superfici finestrate a trasmittanza termica media pari a 1,4 W/m<sup>2</sup>K e la cui trasmissione solare è di 0,67 e prive di schermature se non quelle dovute agli oggetti dell’edificio.

**Chiusura orizzontale superiore** Solaio in latero-cemento con trasmittanza termica pari a 0,297 W/m<sup>2</sup>K.

**Copertura** Tetto a falde in latero-cemento e coppi con trasmittanza pari a 0,623 W/m<sup>2</sup>K.

**Chiusura orizzontale inferiore** Solaio in latero-cemento con trasmittanza termica pari a 0,210 W/m<sup>2</sup>K.

**Ponti termici** Trascurati.

**Partizioni interne** Parete in laterizio sp. 11 cm.

**Divisione verticale tra ambienti riscaldati** Parete multistrato in laterizio con interposto isolante termico con trasmittanza pari a 0,393 W/m<sup>2</sup>K.

**Divisione orizzontale tra ambienti riscaldati** Solaio in latero-cemento di trasmittanza pari a 0,576 W/m<sup>2</sup>K.

Si è optato per strutture in laterizio dalla elevata capacità termica, elemento utile a garantire il comfort ambientale interno in fase estiva [4]. La scelta è stata dettata anche dall'esigenza di non allontanarsi troppo dalle tipologie costruttive tipiche della tradizione italiana. Relativamente alle strutture opache esterne non si è quindi proposta un'unica soluzione, ma si sono considerate molteplici casistiche. Sono state individuate 25 stratigrafie, selezionate tenendo conto della loro effettiva diffusione sul territorio, così da risultare facilmente reperibili dagli operatori del settore. Queste comprendono pareti monostrato, pareti multistrato, sia portanti che non portanti, con pannelli isolanti o isolamento distribuito, aventi trasmittanze termiche che risultano comprese tra 0,175 W/m<sup>2</sup>K e 0,267 W/m<sup>2</sup>K calcolate secondo la metodologia della UNI EN ISO 6946:2008 [5]. Per ogni struttura sono stati valutati attraverso la UNI EN ISO 13786 [6] i parametri termici dinamici ed in particolare in tabella vengono riportati i valori di trasmittanza termica periodica ( $Y_{ie}$ ) e di capacità termica interna periodica ( $k1$ ).

I valori di trasmittanza termica periodica rientrano tutti entro il limite dettato dal DPR 59/09 [7] mentre per la capacità termica interna il range varia tra 20 e 50 [kJ/m<sup>2</sup>K]. La capacità termica interna permette di valutare l'inerzia termica dell'involucro.

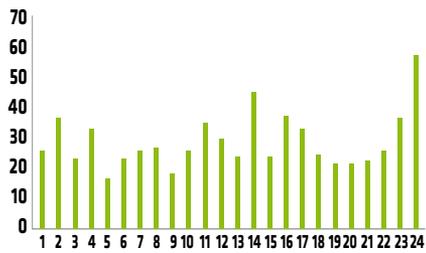
Valori elevati di essa garantiscono un miglior livello di comfort e un miglior controllo dei carichi termici estivi, con conseguente risparmio energetico per il raffrescamento. Tale parametro è infatti funzione della profondità di penetrazione dell'onda termica e descrive la capacità effettiva di accumulo del calore sul lato interno di un componente, quindi in estate la capacità di ridurre le temperature superficiali e attenuare la temperatura operativa [8].

L'accumulo di calore da parte delle strutture interne limita l'escursione interna giornaliera della temperatura dell'aria, limitando il raggiungimento di valori inaccettabili per il comfort interno [4].

**Tab. 2** Principali caratteristiche termiche e costruttive delle stratigrafie analizzate.

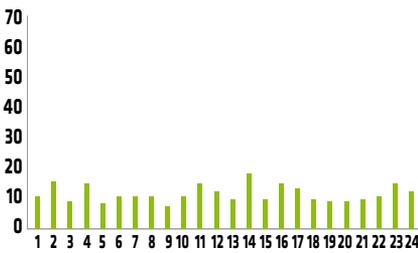
Stratigrafia	Spessore	U	Y <sub>ie</sub>	k1	Portante	Monostrato	Isolante	Materiale principale
	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	kJ/m <sup>2</sup> K	SI/No	SI/No	-	laterizio
1	43,0	0,236	0,007	34,7	No	SI	No	SI
2	53,0	0,203	0,001	38,6	No	SI	No	SI
3	45,0	0,246	0,003	42,5	SI	SI	No	SI
4	53,0	0,214	0,003	38,7	No	SI	No	SI
5	45,0	0,266	0,003	25,6	SI	SI	No	SI
6	52,0	0,260	0,007	47,3	No	No	Fibra minerale in intercapedine	SI
7	43,0	0,237	0,006	41,5	No	No	Cappotto in polistirene	SI
8	43,0	0,235	0,012	48,4	SI	No	Cappotto in lana di roccia	SI
9	45,0	0,261	0,003	21,9	SI	SI	No	SI
10	43,0	0,235	0,013	39,8	SI	No	Fibra di legno in intercapedine	SI
11	45,3	0,208	0,022	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine	SI
12	45,3	0,225	0,022	41,9	No	No	Lana di roccia in intercapedine	SI
13	45,3	0,244	0,017	41,8	No	No	Fibra di legno in intercapedine	SI
14	48,0	0,175	0,001	36,9	No	SI	No	SI
15	48,0	0,244	0,002	39,2	No	SI	No	SI
16	43,0	0,201	0,002	33,1	No	SI	No	SI
17	43,0	0,214	0,003	37,0	No	SI	Polistirene inserito nel blocco	SI
18	43,0	0,242	0,002	39,4	SI	SI	Polistirene inserito nel blocco	SI
19	45,0	0,252	0,006	41,6	No	SI	No	SI
20	45,0	0,252	0,013	42,5	No	No	Polistirene in intercapedine	SI
21	48,0	0,247	0,012	47,7	SI	No	Polistirene in intercapedine	SI
22	44,5	0,237	0,018	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine	SI
23	44,5	0,234	0,014	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine.	SI
24	47,3	0,134	0,024	50,0	No	No	Fibre di legno	No
25	38,0	0,320	0,016	42,0	No	SI	No	SI

**Graf. 2** Riduzione della trasmittanza termica rispetto al valore limite secondo D.Lgs. 311



Riduzione della trasmittanza termica delle 24 stratigrafie analizzate rispetto alla stratigrafia 25, con trasmittanza pari al valore limite del D.Lgs. 311/06 per la zona climatica E ( $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

**Graf. 3** Riduzione del fabbisogno di energia primaria



Riduzione del fabbisogno termico delle 24 stratigrafie analizzate rispetto alla stratigrafia 25, con trasmittanza pari al valore limite del D.Lgs. 311/06 per la zona climatica E ( $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Considerando tali vantaggi dell'inerzia termica interna, si sono scelte tutte soluzioni in laterizio, ad esclusione di una in legno (stratigrafia n° 24), costituita da una successione di strati di isolante in fibra di legno, cartongesso e pannelli di legno. La stratigrafia n° 25 è invece una parete monostrato sempre in laterizio, con trasmittanza secondo valore limite del DPR 59/09 [7], scelta come termine di paragone. In tabella 2 sono riassunte le caratteristiche termiche e costruttive principali delle venticinque stratigrafie analizzate. Le prime ventiquattro stratigrafie individuate nell'analisi risultano tutte più prestanti rispetto all'attuale limite di trasmittanza per la zona climatica considerata (Bologna, zona climatica E).

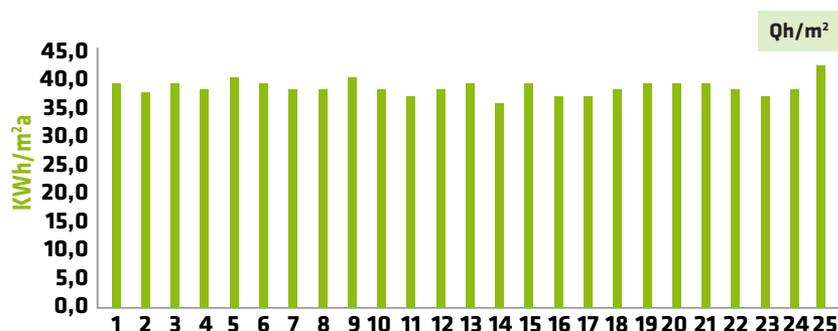
## Risultati

Dall'analisi delle prestazioni termiche delle stratigrafie di pareti scelte si può osservare che esse presentano riduzioni di trasmittanza, rispetto a quella limite, dal 17% al 57%, come mostrato nel grafico in fig. 2. a fronte di tale riduzione, però, nel calcolo del fabbisogno di energia primaria non ritroviamo la stessa percentuale di riduzione. Infatti, nonostante l'andamento dei risultati si assomigli (fig. 3), le percentuali qui si attestano tra il 7% e il 18%, quindi se ne deduce che un elevato calo delle trasmittanze termiche dell'involucro non comporta sempre una altrettanto elevata riduzione del fabbisogno di energia

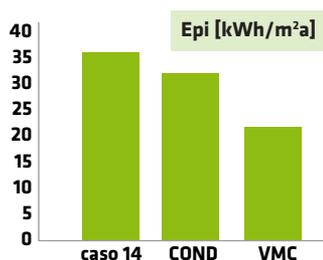
Considerati questi preliminari risultati di questo studio, si sottolinea che nei nuovi edifici "a energia quasi zero", caratterizzati da involucri edilizi molto performanti, il fabbisogno energetico sarà percentualmente molto più influenzato dalle dispersioni per ventilazione rispetto a quanto accadeva negli edifici di vecchia generazione. Infatti, se un edificio costruito precedentemente agli ultimi decreti relativi al contenimento dei consumi energetici consuma  $110 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  di cui solo il 25% è dovuto alla ventilazione; uno costruito nei primi anni dell'entrata in vigore dei decreti consuma  $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  di cui il 35% è dovuto alla ventilazione. Ipotizzando che con i futuri sviluppi normativi non ci saranno variazioni sulla metodologia di calcolo del fabbisogno energetico, un edificio di nuova generazione consumerà  $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , ma il 40% di questo fabbisogno sarà dovuto alla sola dispersione per ventilazione (fig. 4). Pertanto in futuro non sarà più possibile trascurare le problematiche legate alla ventilazione degli ambienti. In termini pratici ciò significa ad esempio valutare l'introduzione negli edifici, anche residenziali, di un sistema di ventilazione meccanica controllata. Questi primi risultati ci portano inoltre a concludere che la sola ottimizzazione dell'involucro edilizio verticale non è un intervento sufficiente per progettare un edificio NZEB, di fatto è necessario introdurre un efficientamento

mento dell'intero sistema edificio-impianto. Partendo dal caso che ha come involucro esterno la stratigrafia 14, che evidenzia i migliori risultati prestazionali dal punto di vista energetico, si sono quindi elaborate due diverse soluzioni impiantistiche. Nel primo caso troviamo una caldaia a condensazione associata ad un sistema di emissione a bassa temperatura e ventilazione naturale (soluzione definita "COND"), mentre, nel secondo caso ritroviamo la stessa caldaia e lo stesso sistema di emissione, associato ad un sistema di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore all'80%, funzionante sia in regime estivo che in regime invernale (soluzione definita "VMC"). Come era logico aspettarsi (fig. 5), la sola introduzione di una caldaia a condensazione associata a pannelli radianti al posto di quella tradizionale con radiatori, presente nell'edificio originario, determina un miglioramento di circa il 12% della prestazione energetica (soluzione definita "COND"), mentre la soluzione chiamata VMC risulta ottenere le migliori prestazioni energetiche riducendo il fabbisogno di circa il 15%, ma senza ancora giungere al consumo "zero". I guadagni ottenuti in termini di efficienza energetica sono comunque tali da permettere di compensare il fabbisogno energetico dell'edificio attraverso l'introduzione di tecnologie rinnovabili come un impianto fotovoltaico e un impianto solare termico a servizio della produzione dell'acqua calda sanitaria. La quota rinnovabile potrebbe portare ad una riduzione tale del fabbisogno di energia che il caso studio possa essere considerato effettivamente un edificio NZEB.

**Graf. 4** Fabbisogno utile in regime di riscaldamento delle 25 stratigrafie analizzate.



**Graf. 5** Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dell'edificio di partenza con stratigrafia 14 (impianto con caldaia tradizionale e radiatori) messo a confronto con quelli ottenuti nei due casi "COND" (ventilazione naturale) e "VMC" (con ventilazione meccanica e con recuperatore di calore).



## Conclusioni

Già da tempo numerose ricerche hanno evidenziato che in clima mediterraneo il riferirsi al solo fabbisogno invernale per classificare gli edifici è limitativo, in quanto manca una componente fondamentale che è il fabbisogno per il raffrescamento legato alla necessità di garantire un adeguato comfort in fase estiva. La difficoltà di calcolare tale fabbisogno, dovuta alla necessità di una valutazione dinamica con molti dati di input, spinge spesso a trascurare questo aspetto, affidando a parametri prescrittivi la limitazione del fabbisogno per il raffrescamento [8]. Nel ridurre ulteriormente il fabbisogno totale dell'edificio in un'ottica NZEB, la problematica estiva diviene invece fondamentale e essa deve quindi essere valutata in modo più dettagliato. L'edificio NZEB dovrà essere necessariamente una combinazione ideale tra tecnologia costruttiva e impianti tecnologici installati, compresi quelli per produrre energia rinnovabile.

Dallo studio riportato in questo articolo si evince che è possibile spingersi verso una ulteriore riduzione di trasmittanza termica delle pareti esterne senza però dover giungere a valori estremamente bassi. I risultati mostrano che un edificio in laterizio, tipologicamente e costruttivamente tipico del nostro patrimonio edilizio, può ottenere eccellenti risultati dal punto

di vista della prestazione energetica e del comfort (valutato in accordo con [4] e [8]) e può quindi rappresentare una tipologia adeguata da utilizzare come edificio campione. Non solo, esso può anche rappresentare un valido esempio di casa NZEB, in cui il fabbisogno energetico è coperto dall'introduzione di impianti efficienti associati a ventilazione meccanica controllata e tecnologie rinnovabili (coppi/tegole fotovoltaiche, geotermico, ecc.). È necessario però evidenziare che in prima istanza la normativa attualmente in via di definizione dovrà fare maggiore chiarezza sia sulla quantificazione della quota rinnovabile, sia sulla corretta interpretazione dell'espressione "quasi zero".

#### **Bibliografia**

- [1] LEGGE n. 90, Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale, 3 agosto 2013.
- [2] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, *Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica*, *Costruire in Laterizio* 159 (2014).
- [3] *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia*, 19 maggio 2010.
- [4] E. Di Giuseppe, Lorenza Fantini, M. D'Orazio, C. Di Perna, *Un indice di comfort abitativo nel certificato energetico*, *Costruire in Laterizio* 147 (2012).
- [5] UNI EN ISO 6946:2008 - *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo*
- [6] UNI EN ISO 13786:2008 - *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*
- [7] *Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 - Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia (09G0068)*.
- [8] C. Di Perna, F. Stazi, A. Ursini Casalena, A. Stazi, *Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica*, *L'industria dei Laterizi*, marzo/aprile 2008, n. 110.

## 1|3 LIVELLI OTTIMALI DI COSTO PER INVOLUCRI AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA

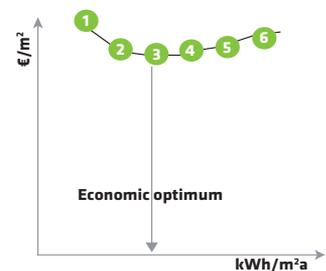
di **Elisa Di Giuseppe**, PhD, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche (AN) e **Marco D'Orazio**, Professore Ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche (AN)

Nell'ultimo decennio, la crescente richiesta di edifici ad elevata efficienza energetica ha spinto progettisti, committenti ed imprese a cercare soluzioni progettuali e tecnologiche di altissimo livello, e spesso, ad elevato costo di investimento. Nell'ambito dell'involucro edilizio, lo sviluppo di componenti innovativi è stato notevole, spesso indirizzato all'ottenimento di una bassissima trasmittanza termica. Tuttavia la mancanza di strumenti normativi per una valutazione dettagliata del rapporto costi-benefici delle diverse soluzioni ha favorito appunto l'impiego di tecnologie ad elevato costo, e ridotta trasmittanza, indipendentemente da una valutazione approfondita degli eventuali vantaggi monetari che sarebbero derivati dalle elevate prestazioni energetiche durante la vita dell'edificio. A questo approccio ha tentato di porre rimedio la Direttiva EPBD recast 2010/31/EU sull'efficienza energetica negli edifici [1], che per la prima volta sottolinea la necessità di effettuare scelte progettuali tenendo conto del rapporto costi-benefici durante l'intero ciclo di vita stimato degli edifici, indirizzando quindi progettisti, committenti ed imprese a scegliere soluzioni costruttive "equilibrate", che non necessariamente sono le più performanti in termini di trasmittanza termica. La Direttiva in particolare richiede agli Stati Membri di definire i propri requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in un'ottica di raggiungimento del "livello ottimale di costo" durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio, valutato secondo la metodologia definita nel Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 [2] e nella norma UNI EN 15459:2008 [3].

La soluzione di efficienza energetica "ottimale" non risulta in quest'ottica quella che consente di raggiungere la migliore prestazione energetica in assoluto, poiché questo potrebbe comportare un elevato costo dell'investimento iniziale, non ammortizzabile nel ciclo di vita utile dell'edificio. La soluzione "ottimale" rappresenta piuttosto il punto di equilibrio tra investimento e ammortamento, stimato considerando tutte le componenti di costo che entrano in gioco durante l'intero ciclo di vita di un edificio. La valutazione costi-benefici di soluzioni tecnologiche per l'edilizia è oggi un tema di grande interesse non solo dal punto di vista normativo, ma anche dal punto di vista di tutti coloro tra investitori privati, progettisti, imprese, interessati a compiere valutazioni e scelte puntuali tra diverse soluzioni di efficientamento. Tuttavia l'applicazione della metodologia di calcolo, già di per sé piuttosto laboriosa, richiede una precisa definizione di tutte le variabili in gioco: i costi di ogni componente edilizio e impiantistico che influenza la prestazione energetica, parametri finanziari quali tasso di inflazione, tasso di crescita dei costi di mano d'opera ed energia, tempi di manutenzione e di sostituzione dei componenti, vita utile dell'edificio, ecc. Ne deriva il possibile rischio che l'incertezza nella valutazione di tali parametri sia così influente da rendere in molti casi difficile individuare la soluzione di efficienza energetica "ottimale" in termini di costi-benefici. Nel presente articolo vengono mostrati i primi risultati di una ricerca sull'individuazione di componenti di involucro opaco ottimali nel rapporto costo-benefici energetici e sulla valutazione dell'influenza dell'incertezza delle variabili di calcolo sui risultati di una valutazione costi-benefici di scelte progettuali legate all'involucro edilizio.

## Il quadro normativo: la Direttiva EPBD 2010/31/CE e il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012

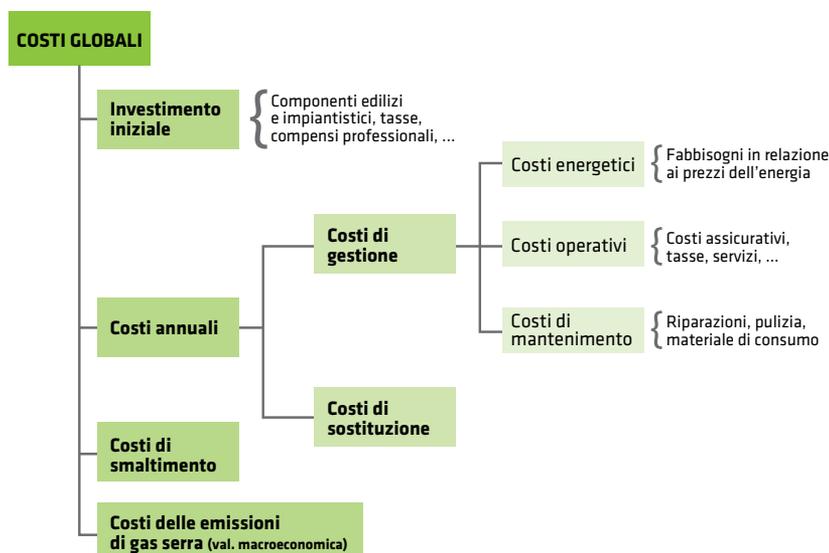
Ai sensi della Direttiva 2010/31/UE il “livello ottimale di costo” deve essere determinato considerando i costi globali legati alla vita utile di un edificio: costi di investimento per l’efficienza energetica, costi di manutenzione, funzionamento e sostituzione ed eventuali costi di smaltimento. Il “livello ottimale di costo” associato ad un intervento di efficientamento individua quello che è il punto di equilibrio tra l’investimento per attuarlo e il costo energetico durante l’intero ciclo di vita stimato di un edificio, ovvero il punto di minimo della curva costi - fabbisogni energetici (fig.1). Soluzioni tecnologiche a cui è associata una migliore prestazione energetica rischiano di comportare maggiori investimenti iniziali (e quindi si collocano prima dell’area dell’ottimo economico). Soluzioni meno efficienti, a cui è associato un minor investimento, rischiano di comportare maggiori costi energetici in fase di esercizio (e quindi si collocano dopo l’area dell’ottimo economico). Al fine di approfondire la metodologia di valutazione, alla Direttiva hanno fatto seguito il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 del 16 gennaio 2012, e le Linee guida (Orientamenti della Commissione) del 19 aprile 2012 [5]. Con questi provvedimenti è stato definito il “quadro metodologico comparativo” per la determinazione dei requisiti energetici ottimali degli edifici a cura degli Stati Membri. In Italia la metodologia è stata applicata da un gruppo di lavoro, costituito da CTI (Comitato Termotecnico Italiano), ENEA e RSE [6]. All’allegato III del Regolamento Delegato sono individuate nel dettaglio le fasi di sviluppo del quadro metodologico comparativo, definite nei seguenti paragrafi.



**Fig 1. Curva costi (asse ordinate) - fabbisogni energetici (asse ascisse). La zona della curva individuata dal punto 3 rappresenta il “livello ottimale di costo”, ovvero il punto di equilibrio tra l’investimento per attuare un intervento di efficientamento energetico e il costo energetico durante l’intero ciclo di vita stimato di un edificio. In questa zona si collocano le soluzioni di efficientamento energetico in grado di “ottimizzare” costi e prestazioni. L’immagine è tratta da [4].**

## Definizione degli edifici di riferimento

Gli Stati Membri devono definire gli edifici di riferimento<sup>1</sup>, ovvero edifici “tipici” e rappresentativi del patrimonio immobiliare nazionale per geometria, sistemi, prestazione energetica, condizioni climatiche e ubicazione geografica, sulla base di una valutazione geografico-funzionale. Gli edifici di riferimento scelti devono includere almeno abitazioni monofamiliari, condomini, edifici adibiti ad uffici e, per ciascuna di queste categorie, ne devono essere definiti almeno uno di nuova costruzione e almeno due tra gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione completa. Su tali edifici viene applicata da parte degli Stati Membri la metodologia di valutazione dei livelli ottimali di costo.

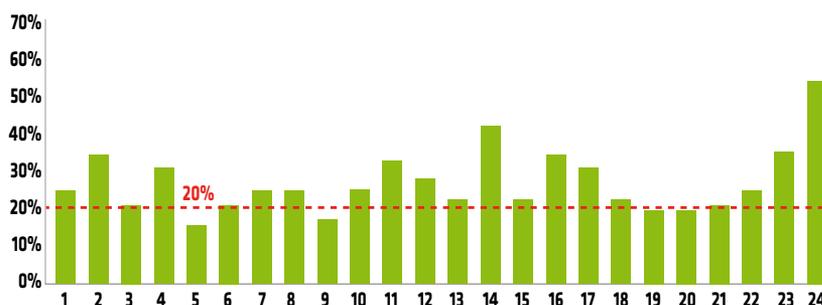


**Fig 2. Schema riassuntivo di tutti i costi in gioco nella metodologia di valutazione definita dalla norma UNI EN 15459:2008 [3].**

## Definizione delle misure di efficienza energetica

Le misure di efficienza energetica per gli edifici di riferimento devono essere definite per tutti i parametri impiegati per il calcolo che hanno un impatto diretto o indiretto sulla prestazione energetica dell'edificio, come l'involucro edilizio; le dotazioni impiantistiche per la climatizzazione, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione; i sistemi di automazione e controllo. Tali misure possono essere accorpate in pacchetti di misure o varianti, per creare sinergie volte ad ottenere risultati migliori (in termini di costi e prestazioni energetiche) rispetto a quelli ottenibili con misure singole (ad esempio isolamento dell'involucro che incide sulla potenza e le dimensioni dei sistemi impiantistici). Per gli edifici esistenti, gli Stati membri applicano almeno una misura/pacchetto/variante rappresentativa di una ristrutturazione standard necessaria per la manutenzione dell'edificio. Per gli edifici nuovi, i requisiti minimi di prestazione energetica attualmente in vigore costituiscono il requisito di base da soddisfare. Possono essere inclusi nella valutazione anche misure/pacchetti/varianti necessari per soddisfare i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici a energia quasi zero, sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti, ai sensi dell'articolo 9 della direttiva 2010/31/UE.

**Fig 3. Riduzione percentuale della trasmittanza termica delle soluzioni di involucro analizzate rispetto alla stratigrafia con trasmittanza secondo il valore limite da D.Lgs. 311/06 per la zona climatica E (soluzione 25). Nel grafico si evidenzia una riduzione media del 20%.**



## Valutazione del fabbisogno di energia primaria degli edifici di riferimento in relazione alle misure applicate

Gli Stati Membri calcolano quindi la prestazione energetica delle misure applicate e il consumo risultante di energia primaria per i sistemi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria e illuminazione degli spazi, impiegando fattori di conversione di energia definiti a livello nazionale. Ai fini del calcolo dei costi ottimali, i risultati della prestazione energetica sono espressi in metri quadrati di superficie utile dell'edificio di riferimento.

## Calcolo dei costi in termini di Valore Attuale Netto

Gli Stati membri devono inoltre valutare, in termini di valore attuale netto, il costo delle diverse misure di efficienza energetica applicate agli edifici di riferimento durante il ciclo di vita economico atteso. In particolare stabiliscono le seguenti categorie di costi da impiegare (fig. 2):

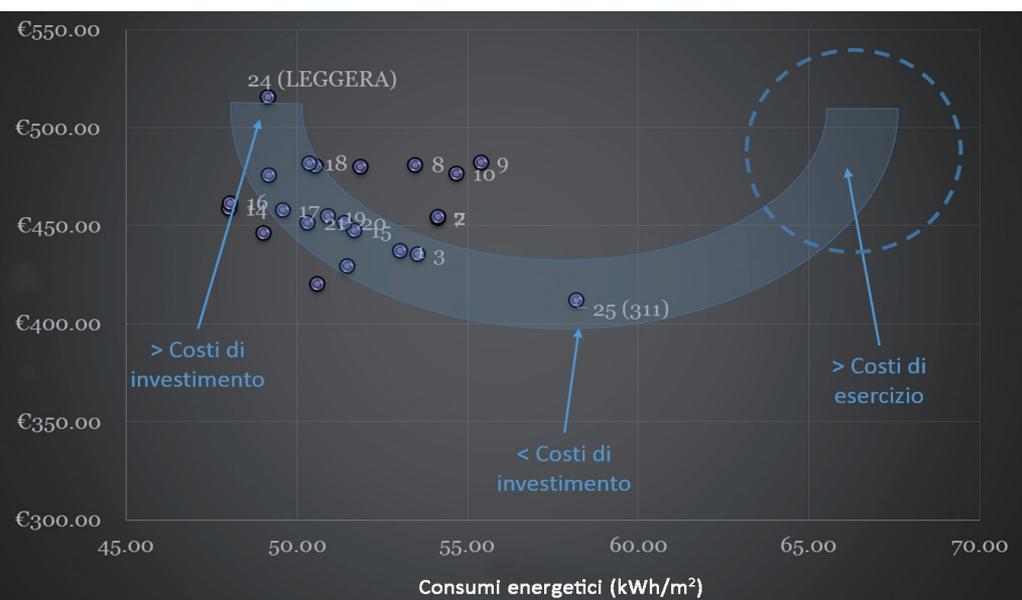
a) costo dell'investimento iniziale, somma di tutti i costi incorsi fino al momento in cui l'edificio è consegnato al cliente, compresi la progettazione, l'acquisto degli elementi edilizi, il collegamento delle forniture, l'installazione e la messa in servizio;

- b) costi operativi, fra cui le spese annuali per assicurazioni, utenze di servizi pubblici, altri oneri fissi e fiscalità;
- c) costi di manutenzione, i costi annuali delle misure volte a conservare e ripristinare la qualità desiderata dell'edificio. Comprendono i costi annuali di ispezione, pulizia, regolazioni, riparazioni e materiale di consumo;
- d) costi di sostituzione, investimenti sostitutivi per un elemento edilizio o impiantistico, sulla base del ciclo di vita economico stimato per l'elemento durante il periodo di calcolo;
- e) costi energetici, derivanti dal prezzo dell'energia, delle tariffe di capacità e delle tariffe di rete;
- f) costi di smaltimento, che comprendono lo smantellamento, la rimozione degli elementi non ancora giunti alla fine della loro vita utile, il trasporto e il riciclaggio.

Il costo globale è dato dalla somma del valore attuale dei costi di investimento iniziale, dei costi di gestione e dei costi di sostituzione (riferiti all'anno di inizio), nonché dei costi di smaltimento, se del caso, in accordo con la norma UNI EN 15459:2008 [3]. Nel determinare il costo globale di una misura/pacchetto/variante, si possono omettere i costi che rimangono uguali in tutte le misure/pacchetti/varianti in considerazione; e i costi relativi agli elementi edilizi che non hanno alcuna influenza sulla prestazione energetica di un edificio.

Il Regolamento prevede che gli Stati membri utilizzino un periodo di calcolo di 30 anni per gli edifici residenziali e pubblici e un periodo di calcolo di 20 anni per gli edifici commerciali non residenziali. Nel caso in cui elementi dell'edificio abbiano una vita utile superiore al periodo di calcolo è necessario valutare il loro valore residuo, determinato da un ammortamento lineare dell'investimento iniziale o del costo di sostituzione fino alla fine del periodo di calcolo, attualizzato all'inizio del periodo di calcolo. Il Regolamento prescrive inoltre che vengano effettuate due distinte valutazioni, l'una basata sulla prospettiva dell'investitore privato che decide di costruire o ristrutturare un edificio (prospettiva finanziaria), l'altra che tenga in conto il punto di vista dello Stato membro (prospettiva macroeconomica).

Nella prospettiva finanziaria, i costi globali per gli edifici e gli elementi edilizi sono calcolati sommando i diversi tipi di costi e applicando a essi un fattore di sconto, così da esprimerli in termini di valore nell'anno iniziale, con l'aggiunta del valore residuo attualizzato, come esplicitato in (1).



**Fig 4. Costi globali rapportati alla superficie utile dell'edificio in funzione dei consumi energetici. Ogni punto sul grafico individua una soluzione costruttiva.**

$$C_g(t) = C_1 + \sum_j \sum_{i=1}^t (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,t}(j) \quad (1)$$

dove:

- t è il periodo di calcolo;
- $C_g(t)$  rappresenta il costo globale (riferito all'anno iniziale  $t_0$ ) nell'arco del periodo di calcolo;
- $C_1$  rappresenta il costo iniziale dell'investimento per la misura o l'insieme di misure j;
- $C_{a,i}(j)$  rappresenta il costo annuale durante l'anno i per la misura o l'insieme di misure j;
- $V_{f,t}(j)$  rappresenta il valore residuo della misura o dell'insieme di misure j alla fine del periodo di calcolo (attualizzato all'anno iniziale  $t_0$ );
- $R_d(i)$  rappresenta il fattore di sconto per l'anno i sulla base del tasso di sconto r da calcolare

## Confronto dei livelli ottimali calcolati in funzione dei costi con gli attuali requisiti minimi di prestazione energetica

Gli Stati membri, dopo aver calcolato i livelli dei requisiti ottimali in funzione dei costi, confrontano il risultato del calcolo con gli attuali requisiti di prestazione energetica per la pertinente categoria di edifici. Il risultato di tale comparazione è utilizzato per garantire che siano fissati requisiti minimi di prestazione energetica al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi, a norma dell'articolo 4, paragrafo 1, della direttiva 2010/31/UE.

## Applicazione della metodologia cost-optimal ad un caso studio reale

Nell'ambito di una più vasta ricerca descritta in [7], la metodologia è stata applicata per la valutazione del livello ottimale dei costi in relazione ad un unico parametro energetico (la trasmittanza termica dell'involucro verticale opaco) in un edificio reale in zona climatica E. La descrizione dell'edificio, delle caratteristiche dell'involucro e delle dotazioni impiantistiche, il calcolo dei fabbisogni energetici sono riportati nel dettaglio in [7]. La valutazione ha avuto lo scopo di determinare la soluzione di involucro "ottimale" in termini costi-benefici, tra 25 soluzioni diverse di pareti, meglio definite in [7] di cui:

- 23 pareti monostrato e pluristrato in laterizio, individuate nel seguito con i numeri da 1 a 23;
- 1 parete leggera stratificata a secco fortemente isolata ( $U=0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), individuata nel seguito con il numero 24;
- 1 parete a cassetta in laterizio con isolamento termico limite [8] per la zona climatica E ( $U=0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), individuata nel seguito con il numero 25;

In fig.3 si riportano le riduzioni percentuali delle trasmittanze delle pareti 1-24 rispetto alla trasmittanza della parete 25, corrispondente al valore limite per la zona climatica E. Come si può osservare dal grafico, tutte le tipologie costruttive hanno trasmittanze notevolmente inferiori al valore limite (mediamente del 20%), la stratigrafia leggera a secco fino a quasi il 60%.

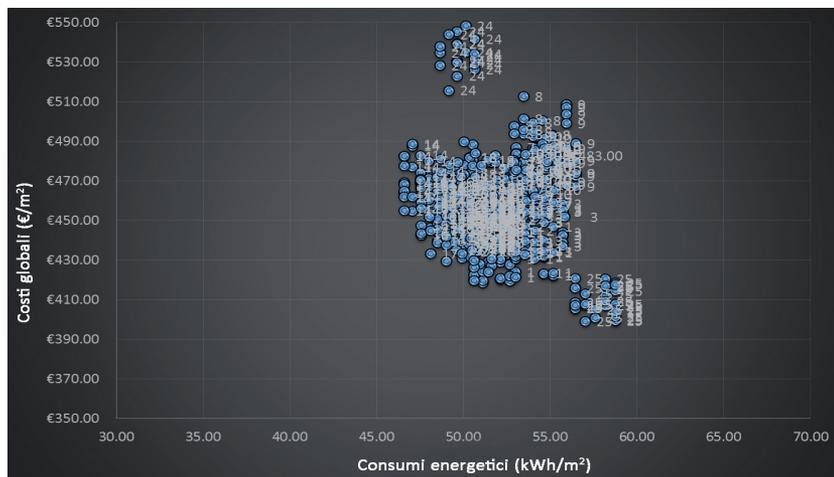
Per ciascuna soluzione di involucro si è calcolato il fabbisogno di energia primaria derivante dalla sua applicazione e il costo globale, per ottenere la curva costi-fabbisogni relativa al parametro trasmittanza termica dell'involucro

verticale opaco. I costi relativi ai materiali da costruzione e alla posa in opera delle soluzioni costruttive sono stati forniti dai produttori stessi. In secondo luogo, al fine di valutare l'influenza di alcuni parametri di ingresso del calcolo, è stato applicato il metodo statistico "Monte Carlo" in forma iterativa, considerando per le grandezze in gioco valori oscillanti all'interno di intervalli predefiniti. In particolare si sono fatte variare le seguenti grandezze nei rispettivi intervalli:

- costi di investimento componenti	+/- 10%
- costi di investimento impianti	+/- 5%
- velocità di crescita dei costi energetici	2.5-3.5 %
- velocità di crescita dei costi manodopera	2.5-3.5 %
- tasso d'inflazione	2.5-3.5 %

## Risultati

Il grafico in fig.4 riporta i costi globali rapportati alla superficie utile dell'edificio in funzione dei consumi energetici. Si evidenzia come, con lo spostamento verso soluzioni a minore trasmittanza, si generino costi globali maggiori, legati a più elevati investimenti in fase di costruzione, rispetto ad un edificio realizzato tenendo a riferimento il D.Lgs. 311. La parete leggera (numero 24) è la soluzione costruttiva che dà luogo agli incrementi di costo più significativi. La soluzione "da D.Lgs. 311", numero 25, si colloca nell'area dei costi ottimali (minimo della curva). Per completare la curva costi-fabbisogni mancano i punti relativi a soluzioni di involucro "peggiorative" rispetto alla situazione costruttiva attuale, che si collocherebbero nella zona caratterizzata da elevati fabbisogni energetici e conseguenti elevati costi in fase di esercizio.



**Fig 5. Costi globali rapportati alla superficie utile dell'edificio in funzione dei consumi energetici. Ogni punto sul grafico individua il risultato per ciascuna soluzione costruttiva analizzata, imponendo una variazione delle seguenti variabili di calcolo entro range predefiniti:**

- costi di investimento componenti (+/- 10%)
- costi di investimento impianti (+/-5%)
- velocità di crescita dei costi energetici (2.5-3.5 %)
- velocità di crescita dei costi manodopera (2.5-3.5 %)
- tasso d'inflazione (2.5-3.5 %)

Il grafico in fig.5 riporta nuovamente i costi globali rapportati alla superficie utile dell'edificio in funzione dei consumi energetici, questa volta considerando i risultati ottenuti con la variazione iterativa delle grandezze di ingresso precedentemente definite.

Si evidenzia come, pur essendo ancora possibile distinguere con chiarezza la non convenienza economica di alcune soluzioni costruttive (parete 24), le altre soluzioni (dalla 1 alla 23) diventano di fatto indistinguibili.

Dunque l'incertezza di alcuni parametri di ingresso rischia di compromettere il risultato tanto da non permettere di distinguere soluzioni costruttive che distano tra loro meno del 10-15% in termini di trasmittanza.

## Conclusioni

Le attuali tendenze normative stanno virando sempre più l'attenzione dall'efficienza energetica al costo dell'efficienza energetica; conseguentemente lo sviluppo tecnologico nel futuro sarà sempre più orientato verso la convenienza economica (e non solo l'efficienza energetica) nella costruzione di edifici "a energia quasi zero". La Direttiva EPBD recast introduce metodologie di calcolo per valutazioni di "soluzioni ottimali", tuttavia l'applicazione risulta molto laboriosa, soprattutto per la notevole quantità e aleatorietà delle grandezze di ingresso da inserire. In tal senso, lo studio presentato in questo articolo evidenzia come, in un'ottica di valutazione costi-benefici, non necessariamente le soluzioni di involucro a minore trasmittanza siano quelle più convenienti, considerato l'intero ciclo di vita di un edificio. Anzi, queste si caratterizzano per costi più elevati in fase di costruzione (costi di investimento) che non vengono compensati dalla riduzione dei costi di gestione (consumi energetici). Se si considera la possibile variabilità delle grandezze in gioco per l'applicazione della metodologia di calcolo, diventa tuttavia più difficile individuare univocamente la soluzione ottimale in termini di analisi costi-benefici. Per una corretta applicazione della metodologia suggerita dalla Direttiva Europea, occorrerebbe dunque una maggiore chiarezza sulla definizione delle grandezze da assumere a riferimento. Ulteriori ricerche su tali aspetti sono necessarie, in un contesto legislativo che si sta orientando sempre più verso valutazioni di efficienza energetica e sostenibilità che tengono conto dell'intero ciclo di vita di edifici e prodotti.

### Note

1. Si tratta degli "edifici di riferimento" (definiti in [1] come "reference buildings") sui quali applicare la valutazione dei livelli ottimali di costo, da non confondere con gli "edifici di riferimento" (definiti in [1] come "representative buildings") su cui si baserà la futura valutazione della prestazione energetica degli edifici. In quest'ultimo caso si definisce "edificio di riferimento" un edificio identico a quello in oggetto, in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale e situazione al contorno, ma avente caratteristiche termiche e parametri energetici prefissati.
2. Il metodo Monte Carlo è un metodo statistico che permette di calcolare una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame. Si realizza attraverso la generazione di possibili dati di input e l'esecuzione di un calcolo deterministico utilizzando tali dati in ingresso, così da aggregare i risultati dei calcoli singoli nel risultato finale.

### Bibliografia

- [1] DIRETTIVA 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- [2] REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 244/2012 DELLA COMMISSIONE del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.
- [3] UNI EN 15459:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici".
- [4] T. Boermans, K. Bettgenhäuser, A. Hermelink, S. Schimschar et al., Cost optimal building performance requirements. Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD, Report Commissioned by European Council for an Energy Efficient Economy with financial support from Eurima and the European Climate Foundation, 2011.
- [5] Orientamenti che accompagnano il regolamento delegato (UE) n. 244/2012 del 16 gennaio 2012 della Commissione che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per calcolare i livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi (2012/C 115/01).
- [6] Ministero dello Sviluppo Economico, Dipartimento per l'energia, Direzione Generale per l'Energia Nucleare, le Energie Rinnovabili e l'Efficienza Energetica, Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (Direttiva 2010/31/UE Art. 5), Luglio 2013, a cura di Comitato Termotecnico Italiano, ENEA e RSE.
- [7] L. Fantini, C. Di Perna, La casa NZEB: una proposta per il clima mediterraneo, Costruire in Laterizio 159 (2014).
- [8] DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2006, n.311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

*I laterizi: risparmio energetico, sostenibilità e salubrità.*

# SOSTENIBILITÀ E SALUBRITÀ

# 2

## 2|1 ECOLABEL PER GLI EDIFICI DEL MEDITERRANEO

di **Maria Chiara Torricelli, Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo**

La regione mediterranea ha sviluppato, attraverso il tempo, forme urbane e architetture che hanno prodotto un patrimonio eccezionalmente adattato al clima specifico. A partire dalla seconda metà del Novecento, questo tradizionale legame con il clima si è andato perdendo. La situazione è ulteriormente aggravata dal fatto che anche questa fascia geografica subisce gli effetti del cambiamento climatico, creandosi così un circolo vizioso con gli edifici e le città che a tale cambiamento contribuiscono sempre di più, quanto maggiormente si ignorano le condizioni climatiche locali. La preoccupazione finalmente emergente e riconosciuta per la sostenibilità dello sviluppo, e quindi per la sostenibilità delle trasformazioni dell'ambiente costruito, impone, oggi, di rivedere queste tendenze e di riflettere sulla specificità di un clima temperato con cui tornare in relazione armoniosa, proprio in vista di elevare la qualità abitativa senza sprechi di risorse. La ricetta appare semplice, attraverso il ritorno alla tradizione: muri spessi e massivi, aperture ridotte, ventilazione trasversale e che sfrutta l'altezza degli spazi abitativi, strade strette e ben orientate, ecc. Ma occorre fare i conti con modelli di fruizione mutati, economie e contesti industriali diversi: si può pensare, dunque, ad una innovazione nella tradizione che sappia mettere a punto soluzioni appropriate, avvalendosi di conoscenze più ampie dei fenomeni e che, proprio a partire dal clima e dalla tradizione, risultino efficaci sotto il profilo della qualità in rapporto alle risorse impegnate. È in tale ottica che, in diversi ambiti, si è cominciato a parlare di una specificità del tema dello sviluppo sostenibile del costruito nel Mediterraneo. Fra le prime iniziative, si può citare la SD-MED International Association, promossa da Francia e Grecia. Fra le più recenti, si segnalano il progetto, lanciato nel 2009, Teenergy schools, guidato e coordinato dalla Provincia di Lucca, e il progetto UE-Life Sun & Wind (ENV/IT/000594), quest'ultimo rivolto alle autorità locali perché promuovano l'uso di materiali e tecniche disponibili sul territorio. In questo quadro, si pone la necessità di mettere a punto appositi strumenti di valutazione e certificazione, comunemente detti *ecolabel*, per gli edifici nella regione mediterranea.

### Sostenibilità degli edifici ed ecolabel

Nel concetto di sostenibilità del costruito, si identificano tre dimensioni: quella ambientale, quella sociale e quella economica, declinate in senso globale e locale. Per promuovere la sostenibilità, occorrono procedure, metodi e strumenti di verifica e valutazione che rendano scientificamente fondato, coerente e trasparente un processo in grado di orientare le decisioni, le scelte, il miglioramento continuo. La specifica problematica è affrontata, per tutti gli ambiti tecnico-industriali, dai sistemi di etichettatura e dichiarazione ambientale che sono stati inquadrati da norme di valenza intersettoriale, di livello internazionale ed europeo. La UNI EN ISO 14020:2002 stabilisce esaurientemente, a tale proposito, i principi generali e lo scopo delle etichette e delle dichiarazioni ambientali. La serie ISO 14020 identifica tre tipi di etichettatura (label) e dichiarazioni (declaration) ambientali: quelle di tipo I o label ambientali; quelle di tipo II o autodichiarazioni ambientali; quelle di tipo III o

**Da sinistra:**

**Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort. Padiglione delle aule in muratura e schermi in legno (foto: ©Ateleier Positif).**

**Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort. Padiglione delle aule in muratura e schermi in legno (foto: ©Ateleier Positif).**

dichiarazioni ambientali. “Label” (tipo I) e “dichiarazione” (tipo III), sostanzialmente, differiscono nello scopo: nel primo caso, la etichettatura documenta, dietro verifiche condotte da parte terza, la conformità a determinati livelli di prestazione ambientale; nel secondo caso, si tratta invece di una dichiarazione delle prestazioni ambientali, sempre verificata da parte terza, che non include però un confronto di tali prestazioni con livelli predefiniti assunti come *benchmark*.

L'autodichiarazione ambientale invece, non solo non prevede un riferimento a definiti livelli di prestazione, ma non è neppure soggetta a verifica da un soggetto terzo. Sviluppatisi nell'ambito di problematiche ambientali, il “label” di tipo I è denominato comunemente *ecolabel*, mentre la “dichiarazione” di tipo III è contraddistinta con l'anacronismo EPD (*Environment Product Declaration*). Un *ecolabel* redatto secondo i principi della norma deve stabilire i requisiti ambientali di un prodotto sulla base di “indicatori derivati da considerazioni relative al ciclo di vita”. Quando ci si riferisce agli edifici, i concetti di indicatore e ciclo di vita assumono particolare complessità e, soprattutto, diventa rilevante il sistema di prestazioni che la costruzione oggetto di analisi deve assicurare. Inoltre, per gli edifici in particolare, le prestazioni ambientali non possono essere disgiunte da quelle sociali e da quelle economiche. Le istanze per una valutazione complessiva del concetto di sostenibilità si vanno facendo sempre più evidenti e riconosciute come fondamentali da parte degli enti di governo internazionali e in ambito normativo. Infine, occorre ricordare che l'intervento edilizio può riguardare il costruito esistente o una nuova costruzione: preoccuparsi di etichette ambientali o di sostenibilità solo per il “nuovo” vuol dire incidere su una porzione del mercato edilizio che in Europa è dell'ordine appena dell'1%. È in questo contesto che si sono sviluppati, ancora su base volontaria, e in risposta alle pressanti istanze del mercato diversi sistemi di certificazione della qualità ambientale degli edifici. Se gli strumenti, quindi, sembrano essere finalmente disponibili, la sfida è oggi quella di armonizzarli a livello europeo, stanti le difficoltà di stabilire livelli di riferimento, indicatori, criteri di requisito, metodi di calcolo e di verifica riconosciuti e normalizzati.

## Sistemi di ecolabel

Si possono distinguere tre tipi di sistemi: una valutazione su base prestazionale, come quella proposta dal sistema anglosassone BREEAM; uno strumento di supporto alle decisioni, quale il sistema francese HQE; i sistemi di etichettatura propriamente detti come lo svizzero Minergie e il tedesco Passivhaus.

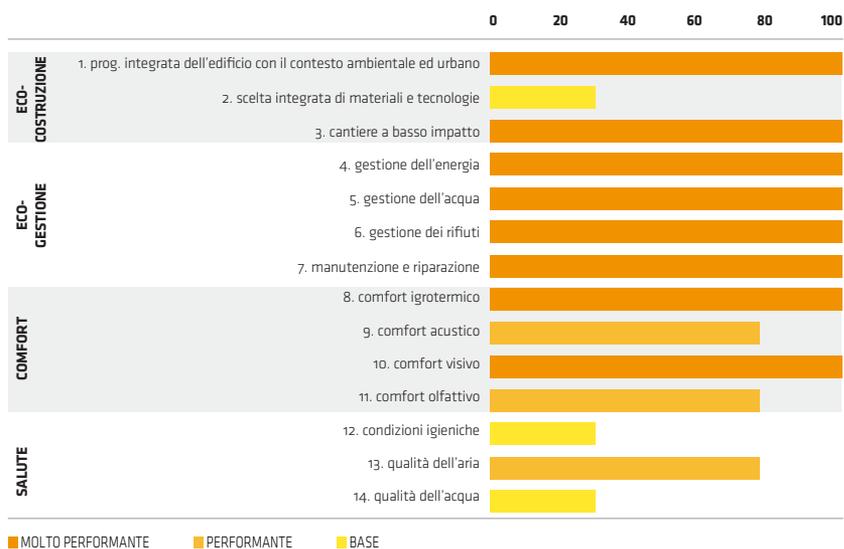
Di seguito, si riporta una sintesi di quelli che hanno oggi maggior diffusione e/o rilevanza nel contesto internazionale, con particolare riferimento ai sistemi di interesse nel contesto mediterraneo. Il BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) è un metodo messo a

punto a partire dal 1990 in Gran Bretagna e integrato con i regolamenti edilizi ed energetici ivi vigenti. Prevede diversi criteri di valutazione per edifici nuovi, per interventi di ristrutturazione e per tipologia edilizia: residenze, uffici, industrie, ospedali, ecc. La valutazione si applica alle fasi di progettazione, costruzione e gestione e prende in considerazione otto categorie di analisi: esercizio, salute e comfort, energia, trasporti, acqua, materiali e rifiuti, uso del suolo ed ecologia, inquinamento ambientale. Il sistema si basa sull'attribuzione di crediti per ciascuno dei requisiti caratterizzanti la sostenibilità dell'edificio, pesati e sommati per ottenere un singolo voto, sulla base del quale all'edificio viene assegnato un indice di qualità.

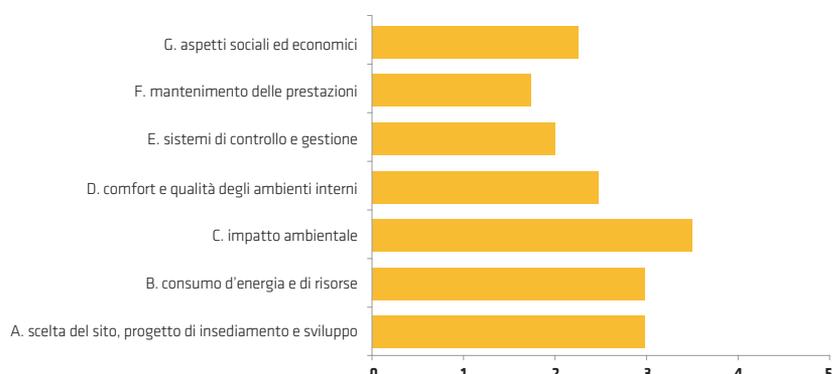
Il sistema prevede diversi livelli di prestazione ambientale e di certificazione dell'intervento. Il metodo BREEAM comprende anche un tool internazionale per proporsi come criterio di etichettatura in contesti geograficamente diversi dalla Gran Bretagna. Sulla stessa linea è il LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*), sviluppato in USA e in Canada e applicato in 40 Paesi; prevede formulazioni differenziate per le nuove costruzioni e per gli edifici esistenti, e per diverse tipologie edilizie (residenziale, commerciale, scuole, ecc.).

I criteri di valutazione sono raggruppati in sei categorie che prevedono requisiti prescrittivi obbligatori e un numero di performance ambientali che, assieme, definiscono il punteggio finale dell'edificio: siti sostenibili, gestione efficiente dell'acqua, energia ed atmosfera, materiali e risorse, qualità degli ambienti interni, progettazione ed innovazione. Il GBC (*Green Building Certification Institute*), istituto che presiede alla certificazione LEED in tutto il mondo, ha recentemente creato una sezione GBC Italia.

**Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort.**  
Grafico delle prestazioni valutate secondo il metodo HQE "NF bâtiments tertiaires - Démarche HQE".



**Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort.**  
Profilo delle prestazioni ambientali secondo valutazione GBC 2005 effettuata dal CSTB.





**Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort. Padiglione delle aule sul quale sono stati installati i pannelli fotovoltaici.**

(foto: © Atelier Positif)

Il Protocollo ITACA è stato sviluppato in Italia da ITACA (*Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale, associazione delle Regioni e Province autonome*) e si applica al progetto di edifici residenziali.

I criteri di analisi sono raggruppati in quattro categorie: ambiente esterno (comfort, inquinamento locale, inserimento nel contesto), consumo di risorse (energia, suolo, acqua potabile, materiali), impatto ambientale (gas a effetto serra, emissioni liquide, rifiuti da costruzione e demolizione, rifiuti, impatto sui vicini), qualità dell'ambiente interno (manutenzione e gestione impianti, monitoraggio dei consumi, spazi comuni). Per ogni criterio e sottocriterio, il progetto riceve un punteggio da -1 a +5: il livello "zero" rappresenta la prassi abituale e la conformità ai regolamenti.

La metodologia HQE (*Haute Qualité Environnementale*), messa a punto in Francia e applicata a partire dal 1994, è stata sviluppata da Association HQE attraverso appositi Centri di Risorse regionali. Il sistema HQE si differenzia dagli altri per la forte connotazione di approccio gestionale lungo le diverse fasi del progetto ed è costruito come insieme di strumenti integrato alla gestione ambientale dell'operazione. Il sistema appare tuttavia piuttosto rigido sotto il profilo della procedura di certificazione e qualcuno lo considera fin troppo flessibile sotto il profilo del controllo dei livelli prestazionali. La metodologia HQE, che riguarda oggi diversi tipi edilizi, dal residenziale al terziario, si integra con la regolamentazione energetica vigente in Francia secondo quattro categorie (*Eco-costruzione, Eco-gestione, Comfort, Salute*) articolate in 14 criteri: relazioni dell'edificio con il contesto immediato, scelta integrata di procedimenti e prodotti da costruzione, cantiere a basso impatto, gestione dell'energia, gestione dell'acqua, gestione dei rifiuti da attività, gestione della manutenzione, comfort igrotermico invernale ed estivo, comfort acustico, comfort visivo, comfort olfattivo, igiene degli spazi, igiene dell'aria, igiene dell'acqua. Un aspetto importante dell'approccio HQE, relativamente ai prodotti da costruzione, è l'adozione del sistema EPD dell'AFNOR, fondato su un metodo di valutazione LCA oltre che sulla valutazione di aspetti sanitari (EPD+S).

La Francia rende così disponibile gratuitamente un data base (INIES) con gli EPD+S dei prodotti. Il metodo VERDE è un metodo spagnolo sviluppato da Arquitectos, Urbanistas e Ingenieros Asociados, GBC Spagna e Consiglio Superiore del Collegio degli architetti spagnoli. Si applica a nuove costruzioni nel settore residenziale, terziario, sanitario e scolastico, alle diverse fasi del ciclo di vita di un edificio (per il momento non tutti gli strumenti sono stati messi a punto). Il sistema fa riferimento ad indicatori di impatto ambientale classici, calcolati sui prodotti e sulla fase di gestione dell'edificio, o espressi in termini qualitativi. Come nel Protocollo ITACA, si utilizza una scala di punteggio.

## Aspetti significativi per un ecolabel nel contesto mediterraneo

A questo punto, è interessante prendere in esame, all'interno di alcuni dei sistemi di valutazione sopra descritti, due criteri che particolarmente sono connessi al contesto climatico e alle risorse locali tipici dell'area mediterranea:

- il comfort termico in estate e le conseguenze in termini di risparmio energetico e di impatto ambientale;
- le strategie di scelta dei materiali, riferite alla valutazione della loro durata e della manutenibilità nel lungo periodo.

Il LEED tratta la questione dei materiali in termini di riciclaggio, riuso e loro rinnovabilità, ma introduce anche dei punteggi a favore correlati alla percentuale di impiego di prodotti regionali nella costruzione.

Relativamente alla categoria efficienza energetica e inquinamento, affronta la questione del raffrescamento estivo con riferimento ai sistemi impiantistici per limitarne l'impatto ambientale, i consumi energetici ed eventuali aspetti di insalubrità dell'aria interna. Non c'è un esplicito riferimento a soluzioni tecnologiche e impiantistiche per il raffrescamento estivo passivo.

Anche il BREEAM non fa esplicitamente riferimento al comfort estivo; tuttavia, nella categoria "energia" attribuisce punti per il ricorso a sistemi free cooling, fra i quali quelli basati sul raffrescamento notturno e sulla massa termica. Relativamente alla categoria "materiali e rifiuti", fa riferimento alla Green Guide to Specification e valorizza il riuso dei prodotti negli interventi di recupero e, in generale, l'uso di materiali da riciclaggio.

La questione climatica è più esplicitamente articolata nel sistema HQE e pertanto, tenuto conto delle diverse zone climatiche della Francia, fra le quali quelle propriamente mediterranee e quelle a clima temperato del sud, gli aspetti legati al comfort termico estivo sono ampiamente affrontati. Inoltre, un'attenzione particolare è data ai temi della durabilità dei materiali e della facile manutenibilità che permettono di valorizzare, non in astratto, le risorse disponibili a livello regionale.

**Rosa Parks Elementary School Portland, Oregon (USA), progetto di Dull Olson Weekes Architects. Nell'agosto 2007 è stato certificato LEED Gold con un punteggio di 42/69.**



Per il comfort estivo, si pone l'accento sulla interazione con le problematiche del comfort acustico (finestre aperte e rumori esterni) e della ventilazione (finestre schermate dal sole) e si differenzia per i casi con ricorso alla climatizzazione oppure a sistemi free cooling e alla geotermia superficiale. I criteri relativi alla scelta dei materiali e dei procedimenti costruttivi sono affrontati in una ottica multicriteri: qualità tecnica e prestazionale, durabilità e adattabilità al tipo di edificio, facilità e basso impatto delle operazioni manutentive, prodotti che garantiscono il comfort e la salute, con un basso impatto nel ciclo di vita (EPD+S).

## Conclusioni

I metodi di valutazione ecolabel per gli edifici si stanno evolvendo per abbracciare un sistema di criteri più ampio e articolato nelle sue interazioni, e per adeguarsi ai contesti climatici e di mercato regionali, pur nel quadro degli obiettivi globali di sostenibilità.

Le valutazioni delle prestazioni sono tuttavia fatte, nella maggior parte dei casi, senza tenere in conto la riduzione dei livelli prestazionali nel tempo, a causa del degrado dei materiali, in particolare per quanto riguarda i livelli di efficienza energetica (ad esempio, riduzione della prestazione di isolamento termico nel tempo) e di impatto ambientale (ad esempio, dispersione di sostanze volatili tossiche - VOC - o fibre) e di salubrità (ad esempio, crescita di funghi e batteri sui materiali).

Il ricorso a metodi di valutazione di sostenibilità e relative etichette dovrebbe promuovere un miglioramento dell'efficienza ambientale, energetica e tecnico-prestazionale degli edifici; ma perché questo avvenga, in direzioni non fuorvianti, occorre che l'effettiva applicazione di questi metodi sia supportata da strutture di verifica, di certificazione e da strumenti informativi appropriati su base nazionale e regionale.

Questo sembra essere uno degli aspetti più difficile da realizzare. Per questo motivo, sono importanti le iniziative a diverse scale recentemente avviate per una convergenza di risorse operative, conoscitive, strumentali e per un coinvolgimento delle strutture locali fra i diversi Paesi, volte a realizzare un sistema di valutazione ambientale e di sostenibilità delle nuove costruzioni e del costruito esistente.



*Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort.*

**Immagine di cantiere: la sala della biblioteca è realizzata con pareti monostrato in laterizio "alleggerito" in pasta.**

## Scheda HQE relativa al Lycée des métiers du BTP et de l'habitat HQE® de Blanquefort

<b>LUOGO</b>	Blanquefort, Gironde 33 FR
<b>DATA DI ULTIMAZIONE LAVORI</b>	2006
<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Isabelle Colas, capo progetto</li><li>• BDM architectes, atelier d'architettura</li><li>• Eccta Ingénierie, BET (strutture)</li><li>• Cap Ingelec, BET (impianti)</li><li>• Adret, BET (HQE)</li><li>• Viam Acoustique (acustica)</li><li>• Atelier Paysages (architettura del paesaggio)</li></ul>
<b>TIPOLOGIA</b>	edificio scolastico
<b>SUPERFICIE</b>	14.600 m <sup>2</sup>
superficie lorda calpestabile	19.901 m <sup>2</sup>
superficie netta calpestabile	18.623 m <sup>2</sup>
<b>HQE RATING (NF BÂTIMENTS TERTIAIRES DÉMARCHE HQE)</b>	consumo annuale d'energia 72 kWh/m <sup>2</sup> emissioni di CO <sub>2</sub> 8 kg/m <sup>2</sup> a consumo d'acqua potabile 5,4 m <sup>3</sup> /a
<b>CRITERI HQE</b>	<p><b>Eco-costruzione</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. progettazione integrata dell'edificio con il contesto ambientale ed urbano</li><li>2. scelta integrata di materiali e tecnologie</li><li>3. cantiere a basso impatto</li></ol> <p><b>Eco-gestione</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>4. gestione dell'energia</li><li>5. gestione dell'acqua</li><li>6. gestione dei rifiuti</li><li>7. manutenzione e riparazione</li></ol> <p><b>Comfort</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>8. comfort igrotermico</li><li>9. comfort acustico</li><li>10. comfort visivo</li><li>11. comfort olfattivo</li></ol> <p><b>Salute</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>12. condizioni igieniche</li><li>13. qualità dell'aria</li><li>14. qualità dell'acqua</li></ol>
<b>STRATEGIE ECOLOGICHE E DI RISPARMIO ENERGETICO</b>	<p><b>Gestione ambientale</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• sistema di gestione ambientale dell'edificio</li><li>• integrazione ambientale</li><li>• integrazione ambientale del progetto nel contesto urbano</li><li>• studio dei percorsi e dell'accessibilità all'edificio</li></ul> <p><b>Gestione sostenibile del cantiere</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• raccolta differenziata degli scarti di cantiere</li><li>• impiego di fosse di decantazione per i getti di calcestruzzo</li></ul> <p><b>Impiego di materiali ecologici</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• impiego di materiali sostenibili selezionati in base ad una analisi multicriteri (blocchi di laterizio, rivestimenti in legno, doppi vetri basso-emissivi, isolamento in lana di vetro)</li><li>• progettazione del verde</li><li>• trattamento delle acque di deflusso per il risparmio idrico</li></ul> <p><b>Risparmio energetico</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• riduzione dei consumi di energia primaria dal 10 al 26% rispetto allo standard RT2000</li><li>• impianto di VMC con recupero di calore</li><li>• impianti per la produzione di calore e ACS alimentati per il 55% a gas e per il 45% a legna</li><li>• produzione di energia da fonti rinnovabili (sole + biomassa) pari al 42% del fabbisogno totale</li><li>• 120 m<sup>2</sup> di pannelli solari</li><li>• 140 m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici</li></ul> <p><b>Gestione della risorsa acqua</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 800 m<sup>3</sup> di bacino di accumulo delle acque meteoriche reimpiegate per l'irrigazione degli spazi aperti</li></ul> <p><b>Gestione dei rifiuti</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• gestione interna dello smaltimento dei rifiuti in un'area di compostaggio di 30 m<sup>2</sup></li><li>• impiego di vasche di decantazione per i getti di calcestruzzo</li></ul> <p><b>Qualità dello spazio interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• impiego di sistemi di schermatura e protezione dall'irraggiamento</li><li>• fattore di luce diurna minimo del 2%</li><li>• sonde di rilevamento del livello di CO<sub>2</sub> all'interno delle aule che comandano l'apertura automatica delle finestre</li></ul> <p><b>Monitoraggio delle performance</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• impianto di Building Management</li><li>• manuale di uso dell'edificio</li></ul>

## 2|2 EDIFICIO AD ENERGIA QUASI ZERO IN UN'OTTICA DI CICLO DI VITA

di **Caterina Gargari**, *PhD, architetto libero professionista*

La Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast 2010) sulla prestazione energetica degli edifici ha introdotto due elementi fondamentali, il concetto di edificio a energia quasi zero e il requisito di livello ottimale in funzione dei costi, che stanno cambiando radicalmente l'approccio alla progettazione e alla costruzione. La direttiva, tuttavia non contiene prescrizioni o indicazioni specifiche in merito alla qualificazione di tali ambiziosi requisiti.

Di conseguenza, come riportato da EURIMA [1], alcuni degli Stati si sono mossi in anticipo sviluppando regolamenti edilizi in linea con la direttiva, ma secondo approcci personali e spesso tra loro diversi. L'Edificio a energia quasi zero è un edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze [2]. Per "livello ottimale in funzione dei costi" si intende il livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato (LCC). La EPBD prevede che gli Stati membri adottino le misure necessarie a fissare i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi, calcolato sulla base del metodo comparativo definito con il Reg. Del. UE n. 244/2012 del 16/01/2012. E questo è il punto. In attesa della pubblicazione degli standard CEN EPBD [3], spetterà agli Stati membri definire cosa si intenda per "altissima prestazione energetica" ed è proprio l'ambiguità di questa definizione che ha favorito il consolidamento di metodologie non omogenee per il calcolo del bilancio energetico di un edificio.

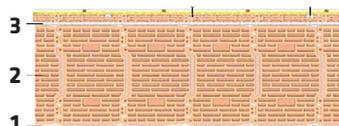
Nella letteratura esistente, i concetti "Quasi Zero Energia" e "Netta-Energia Zero" sono descritti con una vasta gamma di termini ed espressioni e possono essere individuati diversi approcci possibili alla soluzione del problema della loro quantificazione. Le barriere e le incongruenze sollevate dalla mancanza di una definizione di ZEB concertata e armonizzata, sono state già ampiamente discusse a livello internazionale. [4] [5] [6] [7] Occorre innanzi tutto sottolineare la differenza rilevante tra il concetto di Edificio ad Energia Quasi Zero (NZEB) e quello di Edificio ad Energia Zero (ZEB). Il termine "energia zero" si riferisce ad edifici energeticamente autonomi ossia off-grid mentre l'edificio NZEB è generalmente collegato a una o più infrastrutture energetiche, quali la rete elettrica, il teleriscaldamento-raffreddamento, la rete del gas, e altre reti di distribuzione. La definizione di NZEB è quindi collegata intrinsecamente all'infrastruttura energetica, di cui anche gli edifici sono parte [8]. E questo costituisce, secondo un approccio Life Cycle, una variabile significativa, come riportato dai risultati di diverse ricerche [9] [10], che hanno dimostrato come il livello ottimale in funzione dei costi aumenti nel passaggio da un edificio NZEB ad un edificio ZEB.

P. Hernandez e P. Kenny [10] indicano infatti che gli edifici "ad energia zero" valutati secondo un approccio del tipo Life Cycle, presentano un indicatore di energia ed un impatto ambientale più alti rispetto agli edifici "ad energia quasi zero" e agli edifici "ad energia netta zero" (NetZEB). Peraltro, la progettazione di edifici ZEB sembra oggi non essere ragionevolmente raggiungibile in termini di livello ottimale dei costi.

## L'efficienza energetica degli edifici NZEB

Un obiettivo più ragionevole e accessibile consiste invece nel tentare di valutare l'effettivo incremento di prestazione energetica ed economica di un edificio, quando si passi da uno standard Basso-Consumo/Casa Passiva ad un NZEB. Il progetto congiunto Task40/annex 52 Edifici a Energia Netta Zero [9] ha dimostrato che l'energia incorporata (EE) aumenta leggermente nel passaggio da un edificio a basso consumo energetico verso un edificio NetZEB. Tuttavia, i risparmi energetici connessi al minor consumo di energia in uso (OE) superano, con ampio margine, l'aumento di energia incorporata. La valutazione globale dimostra che la quantità di energia utilizzata nel ciclo di vita di un NetZEB è inferiore di circa il 60% rispetto al consumo di energia nel ciclo di vita di un edificio a basso consumo energetico/ Casa Passiva.

Dal punto di vista del minimo consumo di energia nel ciclo di vita, l'edificio NetZEB è preferibile quindi ad un edificio a basso consumo energetico. Ma la definizione di "Edificio ad Energia Quasi Zero" da EPBD [8] utilizza quale unità di misura per la valutazione del bilancio energetico consumo di energia primaria annuo.



**Fig 1. Parete di tamponamento (A) in laterizio alleggerito in pasta ad incastro con cappotto esterno in EPS 6 cm.**

Unità	Totale	Intonaco calce-gesso	Blocchi alleggeriti in laterizio 25/35	Malta di cemento	Pannello isolante in EPS LD	Rasante esterno
kg Sb eq	9.374E-06	1.145E-06	3.267E-06	3.880E-06	7.126E-07	3.686E-07
MJ	-7.785E+01	1.568E-01	-7.851E+01	4.240E-01	5.537E-02	2.964E-02
kg CO2 eq	1.466E+02	5.166E+00	1.191E+02	1.318E+01	7.685E+00	1.426E+00
kg CFC-11 eq	8.997E-06	2.420E-07	7.834E-06	5.866E-07	2.451E-07	8.864E-08
kg C2H4 eq	3.165E-02	4.374E-04	1.692E-02	1.204E-03	1.291E-02	1.820E-04
kg SO2 eq	1.390E-01	9.413E-03	7.391E-02	2.539E-02	2.758E-02	2.723E-03
kg PO4--- eq	2.050E-02	1.266E-03	1.336E-02	3.514E-03	2.013E-03	3.489E-04
MJ eq	8.241E+02	2.883E+01	5.131E+02	9.067E+01	1.809E+02	1.055E+01

**Tabella 1. Profilo ambientale della Parete A – cradle to gate.**

## L'energia incorporata negli NZEB

La maggior parte delle definizioni esistenti di NZEB escludono dal calcolo dell'energia primaria, l'uso di energia durante le fasi del ciclo di vita dell'edificio diverse dalla fase di uso. Infatti, come rilevato da Attia S. et al. [7] le definizioni esistenti inducono potenzialmente ad un errore di valutazione poiché non tengono in considerazione il consumo globale di energia durante l'intero ciclo di vita dell'edificio ma comprendono la prospettiva limitata del solo consumo di energia durante la fase di uso e gestione dell'edificio. Torcellini et al. [11] hanno chiaramente dimostrato che solo una definizione di NZEB che tenga in considerazione tutti gli input energetici durante l'intero ciclo di vita di un edificio, consentirà di individuare gli elementi di rischio più significativi nella valutazione dell'impatto ambientale di un edificio.

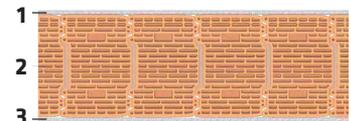
Un approccio LCA del tipo "dalla culla alla tomba" consente infatti di estendere i confini della valutazione energetica oltre la sola energia in uso, includendo nella valutazione altri indicatori quali l'energia incorporata, l'accumulo di energia e la gestione del surplus di energia al fine vita. Occorre quindi evolvere dal concetto di Near Zero Energy Building (NZEB) al concetto di Life-Cycle Near Zero Energy building (LC-NZEB). La rilevanza della energia incorporata nella valutazione dell'impatto ambientale di un edificio è stata dimostrata anche da uno studio italiano [12], che ha messo a confronto una casa standard e una casa a basso consumo energetico. L'autore commenta "Emerge drammaticamente il contributo degli impatti associati ai materiali. In confronto ad un edificio standard, mentre il fabbisogno termico invernale è stato ridotto di 10:1, l'energia nel ciclo di vita è stata ridotto solo del 2,1:1 e l'impronta di carbonio del 2,2:1". L'uso di energia primaria non rinnovabile per la costruzione e la manutenzione è aumentato del 20% nel passaggio

dalla casa standard alla casa a basso consumo energetico. Tuttavia, la quota relativa di energia incorporata sul consumo totale di energia del ciclo di vita è aumentata dal 17 % a circa il 50 %. I risultati confermano quelli originari di uno studio tedesco [13]. Edifici con standard energetici diversi (casa a basso consumo energetico, Casa Passiva e ZEB) sono stati confrontati sulla base della stessa Design Life (80 anni) secondo il ciclo di vita (LC). Feist ha rilevato che l'edificio con la prestazione energetica migliore, presentava il più alto consumo di energia primaria nel ciclo di vita, e ciò principalmente a causa della alta quantità di energia richiesta per la fabbricazione dei materiali di cui era composto. In generale, l'uso di energia nel ciclo di vita diminuisce progressivamente verso lo standard casa passiva. Ma nell'ultimo step verso lo ZEB, l'uso di energia nel ciclo di vita aumenta, come conseguenza di un rilevante aumento di energia incorporata. Pertanto, anche se ridurre il consumo di energia in uso costituisce una strategia fondamentale per l'efficienza energetica, un'attenzione focalizzata esclusivamente sulla fase di uso del LC di un edificio potrebbe portare a una sovrastima dei risparmi energetici potenziali nel ciclo di vita complessivo dell'edificio.

## ANDIL: la casa NZEB in laterizio

Nel 2010 ANDIL ha promosso una ricerca condotta dal gruppo LCA del Dipartimento DIDA, Università di Firenze, con l'obiettivo di creare la prima banca dati di profili ambientali LC di materiali da costruzione e di sviluppare un webtool, user-friendly per valutare gli impatti ambientali di elementi di edificio. Lo strumento, chiamato LATERLIFE 1.0, è ora disponibile gratuitamente presso [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it).

Sulla base dei metodi di calcolo e degli indicatori di impatto ambientale standardizzati dalla norma EN 15804, LATERLIFE 1.0 valuta gli impatti ambientali di sistemi assemblati (pareti di tamponamento o pareti interne, solai, coperture, pavimenti), definiti dall'utente attraverso una finestra interattiva in cui i dati climatici e i componenti della stratigrafia sono selezionabili attraverso menu a discesa.



**Fig 2. Parete di tamponamento (B) in laterizio alleggerito in pasta ad incastro intonaco termoisolante esterno 2 cm.**

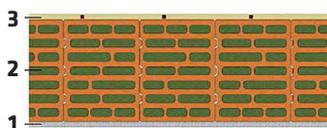
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Intonaco calce-cemento	Blocchi alleggeriti in laterizio	Malta termoisolante	Intonaco termoisolante
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.024E-05	7.635E-07	3.413E-06	4.939E-06	1.128E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	-8.161E+01	1.045E-01	-8.202E+01	1.643E-01	1.392E-01
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.432E+02	3.444E+00	1.244E+02	1.076E+01	4.552E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	9.658E-06	1.613E-07	8.185E-06	7.966E-07	5.157E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2.116E-02	2.916E-04	1.767E-02	2.523E-03	6.703E-04
Acidification	kg SO2 eq	1.432E-01	6.275E-03	7.721E-02	4.421E-02	1.553E-02
Eutrophication	kg PO4--- eq	1.970E-02	8.441E-04	1.395E-02	3.564E-03	1.338E-03
Non renewable, fossil	MJ eq	7.399E+02	1.922E+01	5.361E+02	1.394E+02	4.521E+01

Lo strumento calcola le prestazioni energetiche dell'elemento, come richiesto dalla normativa energetica nazionale (massa superficiale, trasmittanza, trasmittanza termica periodica, ammettenza termica, sfasamento, fattore di decremento) secondo la norma EN 13786, le prestazioni acustiche sulla base di EN 12354-3 e UNITR 11175, nonché quelle igrometriche secondo EN 13788. Inoltre, LATERLIFE 1.0 valuta il profilo ambientale, espresso attraverso 7 indicatori di impatto ambientale (Depauperamento Abiotico, Depauperamento Abiotico - combustibili fossili, Eutrofizzazione, Acidificazione, Riscaldamento Globale, Riduzione dello strato di Ozono, Ossidazione fotochimica), e da un indicatore dell'uso delle risorse (energia fossile non rinnovabile). In accordo con lo standard EN 15804 par.5.2, il profilo ambientale valutato da LATERLIFE si basa su una analisi del ciclo di vita del tipo "dalla culla ai cancelli con opzioni".

**Tabella 2. Profilo ambientale della Parete B - cradle to gate.**

	Spessore	Conducibilità termica	Calore specifico	Densità	Durata di vita	Cicli di sostituzione
	[cm]	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[anni]	[n]
Intonaco interno calce	0.015	0.540	1000	1400	20	2
Blocco portante 25/35	0.350	0.174	840	986	50	0
Cappotto in EPS	0.060	0.030	1450	20	25	1
Rasante esterno	0.005	0.900	1000	1800	25	1

**Tabella 3. Parete A. Durata di vita e cicli di sostituzione durante la vita utile dell'edificio.**



**Fig 3. Parete di tamponamento (C) in laterizio alleggerito in pasta ad incastro con rivestimento in listelli di laterizio 1.5 cm.**

Questo significa che gli impatti sono calcolati durante la “fase di produzione” (dalla culla al cancello) dei materiali [EN 15804 par. 6.2.2] e durante la fase di uso o più precisamente durante la fase B4 “sostituzione” [EN 15804 par. 6.2.4], ovvero sostituzioni di componenti necessarie durante la vita utile dell'edificio a seguito del loro degrado.

ANDIL ha recentemente promosso il progetto per una “casa NZEB in laterizio, antisismica, sostenibile e confortevole”, definendo una serie di elementi preassemblati (murature portanti e pareti di tamponamento, pareti interne, solai, coperture, pavimenti) ad alto profilo statico, energetico ed ambientale [14]. Le prestazioni ambientali di questi elementi, sono state calcolate utilizzando il software LATERLIFE 1.0 con l'obiettivo di fornire al progettista una informazione completa sulle prestazioni più rilevanti, in un'ottica NZEB. Per ognuno dei 24 elementi disponibili a catalogo, è stata realizzata una scheda tecnica con una illustrazione grafica della stratigrafia e una legenda dettagliata. Le caratteristiche geometriche e le prestazioni termiche sono riportate in una tabella e il profilo LCA di base (espresso dagli indicatori GWP e EE) viene delineato in un diagramma a colonna. Ma ci sono altre informazioni ambientali che LATERLIFE 1.0 potrebbe fornire direttamente per l'utente e molti altri saranno aggiunti al termine del processo di aggiornamento che è attualmente in corso (LATERLIFE 2.0).

## Il software LATERLIFE per la valutazione LCA di elementi in laterizio

Di fatto LATERLIFE 1.0 è in grado di elaborare il profilo ambientale completo, dalla culla al cancello secondo le indicazioni metodologiche della EN 15804, per 1 m<sup>2</sup> unità dichiarata dell'elemento, così come mostrato in Tab.1. L'introduzione dei nuovi indicatori minimi obbligatori come standardizzati dalla versione finale della EN15804+A1:2013 sarà oggetto della prossima revisione del tool, LATERLIFE ver. 2.0. Le tabelle 1 e 2, riportano gli impatti ambientali durante la fase di produzione A1 - A3 della due pareti A e B rispettivamente. L'indicatore “non renewable, fossil” in calce alle tabelle 1 e 2, esprime la quantità di energia incorporata nei materiali costituenti l'elemento edilizio progettato. Il tool LATERLIFE non si limita però ad una valutazione della sola fase di produzione ma prende in considerazione anche l'impatto associato alla fase d'uso B4 “sostituzione”. Oltre al profilo ambientale di più di 250 materiali da costruzione, il database LCI che LATERLIFE contiene informazioni sulla reference service life (RSL) di ognuno di essi, così come definita in bibliografia per alcuni usi più comuni e all'interno di uno scenario di impiego standard. La RSL di un componente o di un prodotto è il periodo di tempo durante il quale l'elemento è chiamato a svolgere determinate funzioni definite da parametri determinati ed è in grado di soddisfare senza perdite

**Tabella 4. Parete B. Durata di Vita e cicli di sostituzione durante la vita utile dell'edificio.**

	Spessore	Conducibilità termica	Calore specifico	Densità	Durata di vita	Cicli di sostituzione
	[cm]	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[anni]	[n]
Intonaco interno calce e cemento	0.010	0.900	1000	1800	25	1
Blocco tamponamento 40x25x25	0.400	0.109	840	705	50	0
Intonaco termoisolante	0.020	0.051	840	275	20	2

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Intonaco	Blocchi Alleggeriti	Collante	Malta calce-cemento	Collante	Listello faccia a vista
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.91E-05	7.64E-07	4.30E-06	1.18E-05	3.69E-07	1.48E-06	3.93E-07
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	-8.68E+01	1.05E-01	-1.03E+02	1.49E-01	2.96E-02	1.86E-02	1.63E+01
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.75E+02	3.44E+00	1.57E+02	4.45E+00	1.43E+00	5.56E-01	7.96E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.30E-05	1.61E-07	1.03E-05	6.47E-07	8.86E-08	8.08E-08	1.66E-06
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2.48E-02	2.92E-04	2.23E-02	1.22E-03	1.82E-04	1.52E-04	6.32E-04
Acidification	kg SO2 eq	1.33E-01	6.28E-03	9.73E-02	1.87E-02	2.72E-03	2.34E-03	5.99E-03
Eutrophication	kg PO4--- eq	2.42E-02	8.44E-04	1.76E-02	3.79E-03	3.49E-04	4.74E-04	1.13E-03
Non renewable, fossil	MJ eq	8.61E+02	1.92E+01	6.76E+02	8.30E+01	1.06E+01	1.04E+01	6.23E+01

**Tabella 5. Profilo ambientale della Parete C - cradle to gate.**

prestazionali, tutte le esigenze tecniche per le quali è stato progettato. Le informazioni sulla RSL dei diversi materiali da costruzione, vengono utilizzate per valutare il numero di sostituzioni necessarie a garantire la funzionalità richieste dell'opera edilizia durante la RSL.

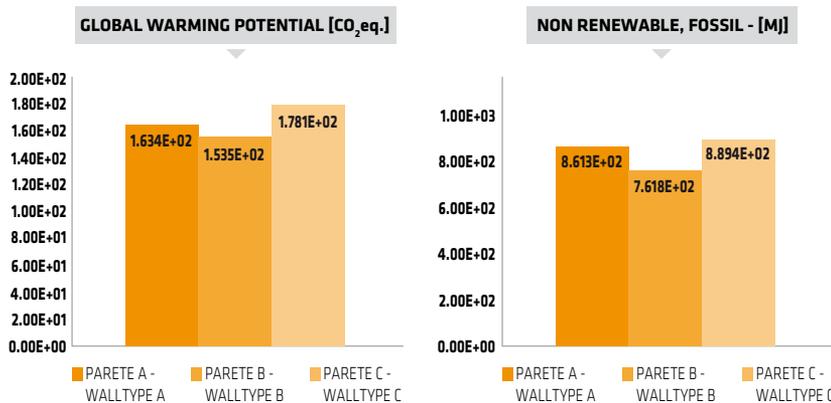
Ci sono numerose altre azioni e attività accessorie che avvengono durante la fase di sostituzione e durante la fase d'uso in generale (es. realizzazione di ponteggi, demolizione di intonaci, rimozione dell'isolamento, realizzazione di nuovi intonaci e finiture...), che possono avere anche una certa rilevanza del consumo di energia complessivo e sull'impatto ambientale totale e devono essere necessariamente considerate in un LCA completo, ma, nell'ottica della semplificazione, sono invece trascurate.

	Spessore	Conducibilità termica	Calore specifico	Densità	Durata di vita	Cicli di sostituzione
	[cm]	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/m³]	[anni]	[n]
Intonaco interno	0.010	0.540	1000	1500	25	1
Blocco tamponamento 40x23.5x25	0.400	0.096	1000	818	100	0
Intonaco di rinzafo	0.005	0.830	1000	1800	100	0
Listelli in laterizio	0.015	0.533	1000	1700	100	0

**Tabella 6. Parete C. Durata di Vita e cicli di sostituzione durante la vita utile dell'edificio.**

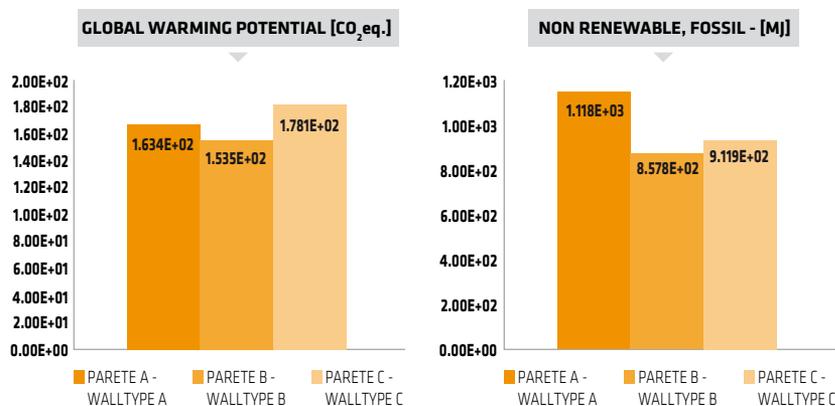
LATERLIFE tiene conto esclusivamente della quantità di energia incorporata che ricorre nel bilancio ambientale a causa dei cicli di sostituzione del materiale. Pertanto, una volta definito l'equivalente funzionale [15] (per esempio due pareti esterne, con il medesimo valore di valore U) è possibile condurre un confronto tra due o più soluzioni alternative, in accordo alla EN 15804 par.5.4, e questo è appunto l'obiettivo principale del software.

LATERLIFE è uno strumento progettato per consentire all'utente anche digiuno di LCA di confrontare due o più tipi di sistemi assemblati, sulla base delle medesime caratteristiche geometriche e prestazioni termiche, al fine di selezionare quella che presenta il miglior profilo ambientale LCA durante le fasi di produzione e di uso. Le tre pareti prese in esempio, sono state composte sulla base dell'equivalente funzionale definito da spessore  $s = 43$  cm e valore  $U = 0,23$  W/m²K.

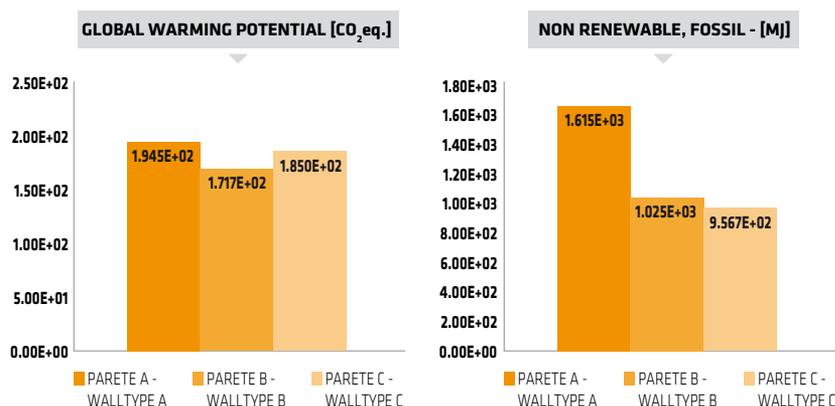


**Fig 4. Confronto tra i profili ambientali dalla culla ai cancelli delle tre soluzioni di parete A-B-C.**

**Fig 5. Confronto tra i profili ambientali dalla culla ai cancelli con opzioni delle tre soluzioni di parete A-B-C su vita utile 50 anni.**



**Fig 6. Confronto tra i profili ambientali dalla culla ai cancelli con opzioni (fase di uso-sostituzioni) delle tre soluzioni di parete A-B-C su vita utile 100 anni.**



Quando in un confronto, il valore della trasmittanza termica stazionaria o di quella periodica sono impostati come invarianti dell'equivalente funzionale, il valore relativo alla energia in uso diventa non rilevante poiché il flusso di calore attraverso gli elementi di involucro oggetto di analisi è il medesimo per tutti i sistemi assemblati e le differenze di impatto tra sistemi distinti risultano quindi legate esclusivamente alla loro energia incorporata (produzione + ricorrente). Pertanto, confrontando le tre tipologie di parete A-B-C, nonostante la parete tipo C presenti in fase di produzione l'impatto più alto delle tre, come mostrato in figura 4, quando la valutazione LC considera anche la fase di sostituzione e l'energia incorporata "ricorrente" viene sommata a quella iniziale, il totale dell'energia consumata (espresso in MJ/m<sup>2</sup>anno) e in generale l'impatto ambientale complessivo, variano significativamente per una DSL (vita utile di progetto) di 50 anni (fig. 5) e si riducono drasticamente estendendo la DSL a 100 anni (fig. 6). In un approccio life cycle, elementi edilizi realizzati con materiali dotati di un alto valore di EE e lunga durata di vita, che richiedono quindi minori interventi di manutenzione e un numero minore o nessuna sostituzione durante l'uso, consentono, in un bilancio complessivo, di risparmiare più energia rispetto al quelle soluzioni tecniche caratterizzate da materiali a EE iniziale più bassa ma per le quali sono previsti cicli di sostituzione periodici.

## Conclusioni

Ad oggi, nessuno Stato membro ha legiferato in materia di energia incorporata negli edifici. Alcuni paesi hanno sviluppato standard volontari [ASHRAE, Graue ENERGIE] ma lo standard EN 15804 costituisce un riferimento europeo armonizzato sulla base del quale definire procedure di calcolo che possano essere effettivamente incorporate come riferimento in un sistema di rating a scala di edificio. Molti degli strumenti di valutazione esistenti prevedono

infatti indicatori relativi all'impatto ambientale dei materiali da costruzione nella valutazione dell'edificio (PROTOCOLLO ITACA, CASACLIMA, THERMISCHE ENERGIE IM HOCHBAU, CASBEE), ma in generale, la mancanza di qualsiasi database LCI nazionale od europeo dei materiali e i sistemi per l'edilizia, salvo quelli generici utilizzati dai LCA Software (es. Ecoinvent, GaBi) costituisce la principale barriera ad una larga diffusione dell'uso di indicatori LCE e LCA nei sistemi di rating degli edifici. LCA e analisi LCE differiscono negli indicatori utilizzati per la valutazione di impatto: mentre il LCA utilizza un ampio set di indicatori (di impatto ambientale, di consumo delle risorse, di produzione di rifiuti), il LCE, prevede un unico indicatore che è l'energia utilizzata. L'uso di energia nel ciclo di vita calcolata è generalmente ripartito sulla DSL dell'edificio ed espresso quindi in kWh/m<sup>2</sup>a. Come chiaramente notato da Attia et al. [6], e confermato dalla presente analisi, quando il risultato dall'analisi LCE (Life Cycle Energy) è presentato nella forma ripartita MJ/m<sup>2</sup>a, la durata di vita dell'edificio non ha, in termini assoluti, alcuna influenza sull'analisi dell'energia in uso ma può avere un impatto significativo sulla energia incorporata iniziale e ricorrente dal momento che si tratta di attività che si verificano una volta nel ciclo di vita (o più o meno di una volta) e il loro impatto è ripartito appunto sulla durata di vita presunta. LCC e LCE rappresentano due metodi fondamentali da introdurre in un prossimo futuro con l'obiettivo di una loro ampia utilizzazione nel settore edilizio, poiché sono in grado di orientare i processi decisionali verso scelte progettuali indirizzate ad una sostenibilità globale che consideri oltre gli aspetti ambientali, quelli economici e sociali. Politiche basate esclusivamente sul risparmio energetico e legati al solo consumo di energia in uso, hanno ormai dimostrato la loro incompletezza.

#### Bibliografia

- [1] *U-values for better energy performance of buildings*, report for EURIMA-European Insulation Manufacturers Association, Ecofys 2007.
- [2] *The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*, Official Journal of the European Union, 53, 2010.
- [3] *CEN work started in 2010 with EN 15603 "Overall energy performance" and should be finished in 2015 when the whole CEN package, including all the sectorial standards will be released.*
- [4] *IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 - Towards Net Zero Energy "Zero Energy building definition", Subtask A technical Report, Date: September 15, 2011.*
- [5] *Kurnitski J. et al. "How to define nearly net zero energy buildings nZEB" - REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast, The REHVA European HVAC Journal Volume 48, issue 3 may 2011.*
- [6] *A.J.Marszal, et al., Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies, Energy Buildings (2011), doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.022.*
- [7] *S. Attia, A. De Herde, Defining Zero Energy Buildings from a Cradle to Cradle Approach.*
- [8] *Aalborg University, Strategic research centre for Zero Energy Buildings "Working Definition of a Net Zero Energy Building (Net ZEB) approach".*
- [9] *IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 - Towards Net Zero Energy "LCE analysis of buildings - Taking the step towards Net Zero Energy Buildings", Subtask A technical Report, Date: May 26, 2013 .*
- [10] *P. Hernandez, P. Kenny, From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB) Energy and Buildings 42 (6) (2010) 815-821.*
- [11] *P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, in: ACEEE Summer Stud, Pacific Grove, California, USA, 2006.*
- [12] *G.A. Blengini, T. Di Carlo, The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, Energy and Buildings, 42 (6) (2010) 869-880.*
- [13] *W. Feist, Life-cycle energy balances compared: low-energy house, passive house, selfsufficient house, in: International Symposium of CIB, 1997, pp. 999.*
- [14] *This guidance is now downloadable at [www.laterizio.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2220&Itemid=91](http://www.laterizio.it/index.php?option=com_content&view=article&id=2220&Itemid=91).*
- [15] *EN 15804 functional equivalent: quantified functional requirements and/or technical requirements for a building or an assembled system (part of works) for use as a basis for comparison.*

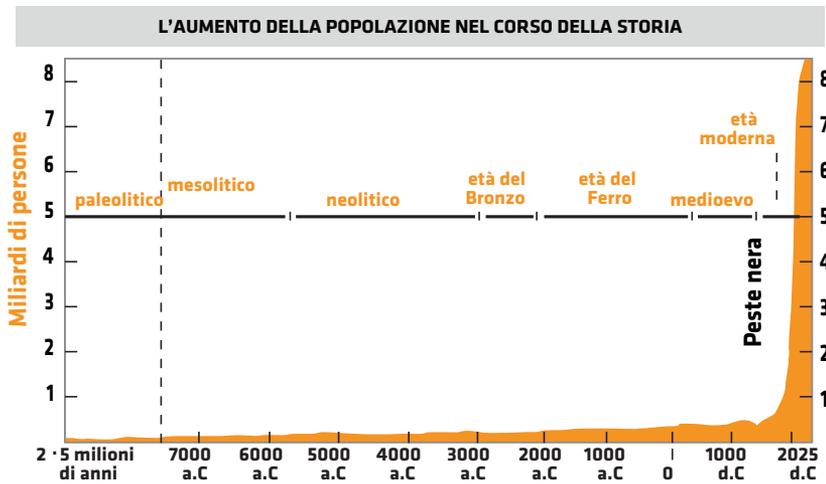
## 2|3 LA SALUTE NELLE COSTRUZIONI MODERNE: LE SFIDE DEL DOMANI

di **Nicola Fiotti**, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e della Salute Università degli Studi di Trieste e **Paola Allegri**, Associazione Italiana Donne Geometra – Esperti Edificio Salubre (Collegio Geometri e Geometri Laureati di Camerino)

Lo sviluppo delle abitazioni e del patrimonio edilizio in genere, come conseguenza della stanzialità dell'uomo, ha avuto un impatto determinante per lo sviluppo del genere umano così come per il pianeta, cioè per l'ambiente che ci ospita. Questo processo di stanzialità, iniziato circa 20.000 anni fa ha comportato una enorme crescita in termini demografici della nostra specie, anche se questo processo non è stato privo di ostacoli, o vere e proprie catastrofi dovute alla scelta di legarsi ad un territorio, ad una attività e alla necessità di vivere all'interno di ambienti confinati. Nell'evoluzione della stanzialità, si possono individuare, ed hanno rilevanza economica, ecologica e medica, tre ordini di relazioni: quelle tra uomo e ambiente, quelle tra uomo e costruzione e quelle tra costruzione e ambiente. Tutti questi punti, che hanno determinato e guidano lo sviluppo delle tecnologie, del costruire e del vivere, sono molto più interdipendenti di quanto si possa immaginare. Una breve disamina di questi aspetti ci permetterà di inquadrare meglio il tema della salubrità degli ambienti confinati globalmente intesa.

### Uomo e ambiente

L'uomo esiste da circa un milione di anni sulla terra, si è evoluto a partire dai primati nel corno d'Africa e ha colonizzato l'intero pianeta camminando, raccogliendo cibo e cacciando. Il rapporto, quasi sempre conflittuale, con l'ambiente ha certamente limitato la crescita demografica: in quell'era lunghissima (chiamata paleolitico) in cui l'uomo era nomade, cacciatore e raccoglitore, la numerosità stimata dei nostri progenitori è passata da circa 200 esemplari all'inizio della speciazione al mezzo milione alla fine di quest'era. Circa 20.000 anni fa, quindi molto di recente, se consideriamo l'intera esistenza della specie, la vita dell'uomo viene sconvolta dai frutti della sua intelligenza: la scoperta dell'agricoltura e dell'allevamento di animali come sorgente di proteine e di forza lavoro. La necessità di proteggere con delle costruzioni il raccolto e gli animali, oltre che se stesso, ha comportato la stanzialità. Era nato il neolitico e, con questo, la civiltà. L'ambiente è divenuto meno ostile, il futuro meno incerto e questo ha permesso alla specie uomo di crescere di 14.000 volte in soli ventimila anni, un incremento mai rilevato in precedenza (figura 1). Questo incremento demografico iniziato nel neolitico ha assunto una progressione pressoché geometrica anche negli anni più recenti, grazie al miglioramento delle condizioni di vita e alla presenza di costruzioni. Attualmente il cittadino occidentale trascorre il 95% della propria esistenza in ambienti confinati. Un'adeguata relazione "ambiente/uomo", presuppone l'equilibrio tra la capacità del primo di essere accogliente senza deteriorarsi e la possibilità del secondo di svilupparsi al suo interno sia in termini di numero che di qualità degli individui. Questo adattamento presuppone un meccanismo di interazione con l'ambiente, di sfruttamento delle sue risorse per la nutrizione e la moltiplicazione della specie. Cardine di questa interazione è la possibilità di ottenere dagli organismi progenitori le informazioni per interagire con l'ambiente esterno. Più è preciso questo meccanismo e il codice con cui si trasmettono queste informazioni, più aumentano le probabilità di sopravvi-



**Fig 1.** L'impressionante aumento della popolazione mondiale osservato negli ultimi secoli, ottenuto mediante lo sviluppo delle costruzioni.

venza dell'individuo. Tale caposaldo della biologia si basa però sulla stabilità dell'ambiente lungo le generazioni, evento questo non sempre vero. Questo meccanismo deve quindi essere fedele nella trasmissione dell'informazione, ma deve essere in grado di generare individui capaci di interagire con un ambiente nuovo, senza conoscenze preliminari. Per capire come questo avviene bisogna passare dalla teoria alla pratica. Gli organismi superiori trasmettono queste informazioni attraverso una molecola straordinaria che è il DNA, due filamenti legati tra loro come una scala a pioli ritorta in cui ogni piolo è dato da due basi azotate complementari legate tra loro da un legame debole ma ognuna fissata agli assi esterni. La sequenza delle quattro basi costituisce il cosiddetto codice genetico, che nell'uomo è di circa 6 miliardi di basi. In pochi femtogrammi ( $10^{-15}$  grammi) sono stoccate le informazioni su come costruire più di 20.000 proteine regolandone finissimamente la velocità di sintesi. Le proteine poi mediano l'interazione con l'ambiente. La natura ha bilanciato queste esigenze (garantire una variabilità e un'evoluzione dell'informazione trasmessa) con una eleganza sublime: la molecola (o il complesso di molecole) che garantisce la duplicazione del DNA immette una dose minima di errori di trascrizione nel DNA, diversificando quindi la struttura o la regolazione delle proteine e modificando, in tempi molto lunghi, le specie viventi. A seconda dell'ambiente in cui si trova l'individuo, le diverse modifiche del codice, e talvolta la stessa modifica, possono restare silenti, tradursi in un importante vantaggio biologico, o in una di quelle che noi chiamiamo comunemente malattie genetiche. La natura non smette mai di sperimentare, inducendo variazioni nel singolo individuo con l'intento (ragionando finalisticamente) di preservare la specie. Sono caratteristiche di questo modello di adattamento, la lentezza con cui vengono introdotte le variazioni (che si manifestano solo tra generazioni), e la sua applicabilità ad ogni relazione tra ambiente e uomo, sperimentata nel corso di milioni di anni di evoluzione ma valida anche in caso di adattamento ad ambienti artificiali, come vedremo. Questa premessa è necessaria per capire che, mentre le specie viventi possono superare cambiamenti ambientali improvvisi, sono i singoli individui che le compongono a pagare il prezzo più alto, sia in termini di qualità della vita, sia di sopravvivenza.

## Uomo e costruzioni

Teoricamente, l'ambiente ideale per l'uomo è quello in cui si è sviluppato il suo DNA, cioè gli spazi aperti della foresta, in cui vivono i primati con cui condividiamo più del 98% del DNA (e quindi della capacità di interazione con l'ambiente). Mentre sono innegabili i vantaggi del vivere in ambienti confinati, bisogna riconoscere che molti apparati e organi, tra cui quelli di senso, sono concepiti e funzionano al meglio in ambienti esterni.

La percezione visiva dell'ambiente circostante si basa sulla convergenza e proiezione delle immagini sulla retina dell'occhio. Mentre la visione di oggetti lontani non richiede un lavoro di messa a fuoco, quelli vicini, cioè al di sotto dei 6 metri, richiedono l'intervento del muscolo ciliare per aumentare lo spessore del cristallino e proiettare correttamente l'immagine sulla retina. Ne deriva che, nella grande maggioranza delle costruzioni, il muscolo ciliare è in esercizio anche nel momento in cui fissa l'oggetto più lontano. Si tratta di uno sforzo inconscio che apparentemente non genera disturbi, ma che non ha alternative in un ambiente confinato.

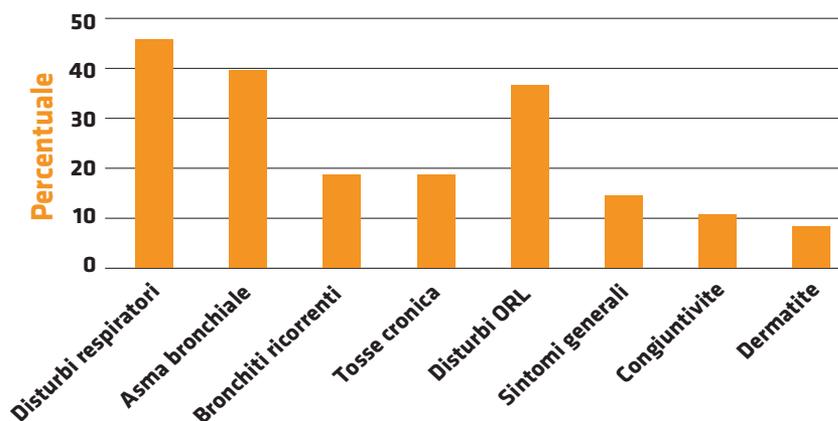
L'udito è strutturato in modo da sentire al meglio il suono degli oggetti posti davanti e in basso ma risente dalle interferenze delle onde acustiche riflesse: il riverbero delle onde acustiche in spazi confinati limita fortemente la percezione della parola e la sua intelligibilità, tanto che il miglior parametro per la fruibilità di un ambiente dal punto di vista acustico è il tempo di riverbero, cioè il tempo di permanenza dell'energia sonora all'interno dell'ambiente, mentre la naturale tendenza dell'onda acustica è quella di allontanarsi e disperdersi senza ritorno. L'esposizione a microclimi umidi, freddi o troppo caldi in ambienti confinati induce limitazioni fisiche o emotive che influenzano la vita quotidiana (dispnea, inappetenza, bassa vitalità, insoddisfazione), condizioni che sono però facilmente risolvibili con interventi di natura edilizia e non medica [1].

Vi sono poi aspetti francamente patologici della permanenza in ambienti confinati, che vanno analizzati più in dettaglio. Quando una cattiva relazione tra due categorie così ampie e variabili come l'uomo e la costruzione vede responsabilità solo in quest'ultima, si parla di malattia da costruzione (*Building Related Illness*, BRI). Questa situazione fa sì che chiunque abiti un certo ambiente rischia di contrarre la malattia. Alcuni casi paradigmatici sono la legionellosi, polmonite generata dalla diffusione del batterio nei sistemi di umidificazione e condizionamento.

Il cancro del polmone nei non fumatori, inoltre, è legato principalmente ad alti livelli di radon, condizione non infrequente in un paese come l'Italia. L'esposizione alle muffe all'interno delle costruzioni, infine, oltre alle ben note patologie respiratorie, asma in testa, espone al rischio di danni cerebrali permanenti non dissimili a quelli dovuti ad un trauma cerebrale di media entità. Molto più diffusa è una sorta di concorso nella genesi della condizione: la patologia si sviluppa quando un ambiente con un particolare limite viene abitato da un soggetto con una intrinseca predisposizione a sviluppare una certa malattia.

Il caso paradigmatico è la *Sick Building Syndrome* (SBS) [2], sindrome da edificio malato che, dal punto di vista nosologico, dopo sei mesi di permanenza del quadro clinico viene catalogata come Sensibilità da Agenti Chimici Multipli [3]. L'irritazione di epiteli e mucose, e disturbi del sistema nervoso contrale sono i disturbi principalmente riportati dai soggetti colpiti (figura 2).

**Fig 2. I sintomi prevalentemente accusati da soggetti con Sick Building Syndrome.**



Le condizioni ambientali che riducono la fruibilità degli ambienti sono principalmente la cattiva qualità dell'aria, dell'illuminazione, del riscaldamento [2, 4], che inducono il quadro clinico della SBS nei soggetti con aumentata sensibilità. Le BRI possono essere gravi o fatali, ma fortunatamente sono meno frequenti delle SBS. La prevalenza di quest'ultima è difficile da quantificare per l'eterogeneità delle condizioni analizzate e la difficoltà intrinseca delle misurazioni. Stime prudenti indicano che un ambiente su tre del mondo occidentale abbia limitazioni dell'aerazione che potrebbero potenzialmente condurre alla sindrome, mentre due studi indipendenti condotti in Europa e in Asia indicano in un 10% la popolazione che può sviluppare questa sindrome. Bisogna anche ricordare che per condizioni di estrema trascuratezza dell'ambiente o funzioni intellettuali cosiddette fini (memoria o elaborazione intellettuale) gli effetti sono ubiquitari.

Queste condizioni nascono dalla mancanza di un sistema di interazione con sostanze e materiali, naturali o di sintesi, che costituiscono l'ambiente. Si è in pratica esposti a una serie di prodotti che possono essere considerati inerti nel migliore dei casi, come i laterizi di qualità e non trattati con additivi chimici, ma che in casi meno fortunati possono avere un considerevole impatto negativo sulla salute. La commercializzazione di un certo materiale, da costruzione o meno, avviene secondo direttive europee dopo che ne è stata provata la non dannosità dei suoi componenti, prova che è sostenuta economicamente da chi commercializza. Ci sono delle falle nel sistema? Almeno due sono degne di essere citate: l'acquisto di un materiale prodotto al di fuori dalla CE può sfuggire a questa verifica.

Ad esempio, una legge USA permette di non dichiarare alcuni componenti (fino al 17%) dei prodotti americani [5]. Questi sono componenti minoritari che conferiscono caratteristiche uniche a certi prodotti e possono essere uno stimolo alla concorrenza, ma il 60% dei rapporti sulle reazioni avverse inoltrati all'Agenzia della Protezione Ambientale riguarda proprio questi composti nascosti. Inoltre, mentre due composti usati isolatamente possono risultare innocui, la loro combinazione può essere pericolosa, specie quando questi vengono lasciati interagire per decenni, come è tipico delle costruzioni. Tra i meccanismi che peggiorano la qualità ambientale va annoverato l'uomo stesso: ambienti ristretti si caricano spesso dei suoi rifiuti metabolici contribuendo in modo sostanziale al peggioramento della qualità dell'ambiente.

L'uomo disperde circa 1.600 calorie ogni 24 ore nell'ambiente circostante sotto forma di energia luminosa o termica, questa energia è prodotta a spese di ossigeno consumato e di CO<sub>2</sub> prodotta, oltre a circa 2 grammi di cellule morte. Tutti questi elementi sono fortemente impattanti sulla salute umana e sul suo benessere. Non solo, un uomo rilascia ogni giorno poco meno di un litro di acqua sotto forma di vapore. Se non viene disperso, magari per andare incontro a misure di contenimento energetico, questo vapore condensa sulle pareti e favorisce la crescita di muffe.

Il risparmio energetico è un argomento di primario interesse politico ed economico, talora perseguito a scapito del comfort e della salubrità dell'ambiente costruito. Tuttavia, è possibile coniugare il risparmio energetico con la salubrità degli edifici in un modello di progettazione innovativo, tecnicamente e tecnologicamente avanzato.

A lanciare l'allarme sull'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati, oltre all'Organizzazione Mondiale della Sanità, è stato il CNR: almeno il 10% degli edifici adibiti a uffici in ognuno degli otto paesi coinvolti nello studio «OfficAir Project» (Italia, Francia, Finlandia, Olanda, Ungheria, Grecia, Spagna e Portogallo) presenta livelli di inquinanti superiori a quelli esterni, e talora valori superiori a quelli soglia. Le maggiori fonti di questo inquinamento sono le pavimentazioni (linoleum), gli arredi in legno, colle, vernici, prodotti di pulizia, detersivi, deodoranti, fotocopiatrici e stampanti. Uno studio pubblicato sul *New England Journal of Medicine* nel 2013 rileva che tra i fattori di rischio più importanti nel ridurre la qualità e/o l'aspettativa di vita (al terzo, al nono

e al venticinquesimo posto) vi sono condizioni correlate con la permanenza in ambienti confinati, la presenza di sostanze nocive al loro interno, o l'utilizzo domestico di combustibili solidi [6]. La *Household Air Pollution Commission* ha pubblicato dati allarmanti sull'inquinamento *indoor*: si tratterebbe della principale causa di decesso legata all'ambiente, determinando da 3,5 a 4 milioni di decessi (dato del 2010) su scala globale.

Il pericolo per la salute generato da costruzioni insalubri ha anche risvolti sul diritto. Le norme igienico-sanitarie in materia edilizia, secondo il Regio Decreto n. 1265/1934 del 27 luglio 1934, e nel Decreto Ministeriale (sanità) 5 luglio 1975, scaturiscono da una realtà urbanistica-edilizia-igienica e amministrativa completamente diversa da quella attuale. Oggigiorno, il significato della terminologia è ovviamente mutato alla luce di tutte le considerazioni, valutazioni, introduzioni successive (Testo Unico n. 380/01 compreso) e il termine salubrità, ha acquisito un senso molto più estensivo, pregnante e soprattutto vincolante dal punto di vista giuridico.

## Costruzione ambiente

Un terzo capitolo dell'analisi dei rapporti tra costruzioni e salute è quello del costo per l'ambiente. Oltre a considerare la biocompatibilità delle costruzioni, la loro ecosostenibilità finale va distinta tra quella dell'utilizzo e quella dei singoli elementi costruttivi.

Se la direttiva europea "EPBD2" prevede che entro il 2020 debbano essere realizzati esclusivamente edifici il cui il «fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze» (i cosiddetti *nearly Zero Energy Buildings*, *Fabbricati nZEB*), gli indirizzi comunitari sui componenti delle costruzioni sono meno stringenti. Un materiale può essere salubre ma il suo onere per l'habitat può essere molto elevato o insostenibile, come per alcuni legni tropicali, oppure ci sono materiali naturali assolutamente performanti ed economici, di cui vi è grande abbondanza, ma pericolosi per l'individuo. Un tipico esempio di quest'ultima categoria è l'amianto. Poiché la tecnologia avanza, non si devono considerare queste distinzioni fisse ed inamovibili, ed è possibile che materiali ora rari possano essere prodotti in larga scala, come materiali pericolosi vengano impiegati in modo da non impattare più sulla salute dell'uomo.

**Fig 3. Caratteristiche delle maggiori fonti di inquinamento del mondo moderno.**

Sostanza	Maggiori sorgenti	Caratteristiche
 Metano	Produzione di gas e petrolio Allevamento di animali Trattamento delle acque Coltivazione del riso	Durata: 10 anni Salute: precursore produzione ozono, inibitore del metabolismo delle piante Clima: il secondo induttore di cambiamenti climatici dopo la CO <sub>2</sub>
 Riduzione dell'ozono atmosferico	Traffico e trasporti Riscaldamento e cucina Combustione agricola e forestale Produzione di materiali edili Produzione di gas e petrolio	Durata: 1 mese Salute: causa malattie respiratorie, inibitore del metabolismo delle piante Clima: generatore di gas serra tramite reazioni fotochimiche
 Prodotti della combustione	Traffico e trasporti Riscaldamento e cucina Combustione agricola e forestale Produzione di materiali edili Produzione di gas e petrolio	Durata: giorni Salute: causa malattie respiratorie, cancerogeno Clima: riscalda l'atmosfera modifica le precipitazioni, scioglie i ghiacci su cui si deposita
 Anidride solforosa e ossidi di azoto	Traffico e trasporti Riscaldamento e cucina Combustione agricola e forestale Produzione di materiali edili Produzione di gas e petrolio	Durata: giorni Salute: componente delle polveri, precursore dell'ozono, causa acidificazione ed eutrofizzazione degli ecosistemi, causa malattie respiratorie e cardiovascolari Clima: maschera il riscaldamento globale
 Idrofluorocarburi	Condizionamento dell'aria Refrigerazione Schiumogeni Antincendio solventi	Durata: da mesi a decenni Clima: numerosi gas serra

L'uso del laterizio nelle costruzioni offre da sempre innumerevoli vantaggi. Le doti di coibenza e inerzia termica, la gradevolezza della temperatura superficiale, l'igroscopicità, la traspirabilità e le capacità di assorbimento di sostanze volatili ne fanno un materiale pressoché ideale. Dal punto di vista della salubrità, le doti sopra descritte costituiscono una garanzia: la letteratura medica non riporta sostanziali relazioni tra uso di laterizi nelle costruzioni e danno alla salute, per lo meno per l'utilizzatore finale. Il termine laterizio è tuttavia molto generico e accomuna materiali di diversa origine, con diverso tipo di lavorazione e quasi sempre una quota di materiale di riciclo sempre tracciabile. Il tipo di lavorazione, tuttavia, può fare la differenza tra prodotti in laterizio sulla salute umana e forse dell'intero pianeta. Un articolo comparso su *Nature* del Novembre 2014 cita, tra i più forti contributori al cambiamento climatico e alla salute dell'uomo, la produzione di metano atmosferico, di idrofluorocarburi, la riduzione dell'ozono atmosferico, la combustione di carbone e la produzione di anidride solforosa e ossidi di azoto. Con l'eccezione dei primi due, la produzione di mattoni è identificata come un contribuente fondamentale alla generazione di questi composti [7] (figura 3). La riduzione del consumo di energie non rinnovabili è iniziata nel settore dei laterizi negli anni 80 ed oggi, per ottenere una tonnellata di prodotto, si consumano intorno ai 43 metri cubi di gas naturale [8]. Il consumo medio di energia per tonnellata di prodotto si è ridotto significativamente (-39%) tra il 1990 ed il 2007, un'ulteriore riduzione dei consumi sarà possibile solo con tecnologie innovative, mentre il ricorso a fonti rinnovabili, sarà possibile solo se si ridurranno significativamente i costi del gas di sintesi [roadmap ceramics]. Una riduzione decisa di questi composti per il 2030 potrebbe ridurre di due milioni/anno i morti a livello del pianeta e salvare 50 milioni di tonnellate di raccolto, oltre a rallentare il riscaldamento globale di mezzo grado e ridurre l'innalzamento del livello dei mari del 20% per la metà del secolo. In quest'ottica, un criterio premiante per chi produce con migliore tecnologia e basso impatto sarebbe più che mai opportuno [7].

## Conclusioni

In una realtà in continua evoluzione e in un mondo con crescenti esigenze, la sfida è sviluppare una metodologia costruttiva che abbinii il risparmio economico e la salubrità degli ambienti confinati a quello ambientale, promuovendo e tutelando al contempo la salute umana. Questa sfida può essere vinta se i costruttori e le altre figure della filiera edilizia con quelle professionali (presenti sul mercato o da forgiare) sapranno integrare i bisogni dell'uomo con quelli dell'ambiente che lo ospita.

### Bibliografia

- [1] H. Thomson, S. Thomas, E. Sellstrom, M. Petticrew, *Housing improvements for health and associated socioeconomic outcomes (Review)*, *The Cochrane Library* 3 (2013): 1-330.
- [2] P.S. Burge, *Sick Building Syndrome*, *Occupation Environ Med* 61 (2004):185-190.
- [3] S.J. Genus, *Chemical Sensitivity: Pathophysiology or Pathopsychology?* *Clinical Therapeutics* 35 (2013): 572-577.
- [4] J.D. Spengler, Q. Chen, *Indoor air quality factors in designing a healthy building*, *Annual Review of Energy and Environment* (25) 2000:567-601.
- [5] *Toxic Substances Control Act (TSCA)*. EPA. Environmental Protection Agency, disponibile al sito [www.epa.gov/agriculture/lsc.html](http://www.epa.gov/agriculture/lsc.html) (ultimo accesso 1 gennaio 2015).
- [6] C.J.L. Murray, A.D. Lopez., *Measuring the Global Burden of Disease*, *New England Journal of Medicine* 369 (2013):448-457.
- [7] J. Schmale, D. Shindell, E. von Schneidmesser, I. Chabay, M. Lawrence, *Clean up our skies*, *Nature* 515 (2014): 335-337.
- [8] E. Biele, N. Di Franco, *Guida operativa. Ottenimento dei certificati bianchi*, Accessibile al sito [www.fire-italia.it/pubblicazioni/go\\_laterizi\\_web.pdf](http://www.fire-italia.it/pubblicazioni/go_laterizi_web.pdf) (ultimo accesso 1 Gennaio 2015).

## 2|4 QUALITÀ AMBIENTALE DELLE SOLUZIONI IN LATERIZIO

di Adolfo F. L. Baratta

### Laterizio e ambiente

Le amministrazioni pubbliche di alcuni Paesi europei hanno elaborato delle regole per la valutazione della sostenibilità ecologica dei materiali edili e della loro applicazione. Seppure solo parzialmente, anche l'Unione Europea si è mossa per riconoscere l'importanza di una trasformazione ecologica della produzione edilizia, prima con la Direttiva 89/106/CEE, "Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione", e poi con il Regolamento 880/92/CEE, "Sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica", che prevede la costituzione di un marchio europeo denominato Ecolabel per la certificazione della ecocompatibilità dei prodotti, non solo per l'edilizia. In estrema sintesi, la sostenibilità di un prodotto è definita dal suo impatto ambientale durante l'intero ciclo della sua vita: un prodotto è tanto più sostenibile quanto minore è l'impatto ambientale, in termini di input (consumo di energia, risorse, ecc.) e output (produzione di rifiuti, ecc.), nelle fasi di estrazione, lavorazione, imballaggio, trasporto e distribuzione, posa in opera, uso e dismissione con l'eventuale smaltimento, riciclo o riutilizzo. La complessità e l'articolazione del settore produttivo rendono particolarmente difficile la valutazione della qualità ecologica dei materiali da costruzione e la stesura quindi di "ecobilanci" che tengano conto delle numerose variabili. In realtà, all'interno di ogni fase, si verificano molteplici scambi con l'ambiente, sia in entrata che in uscita. Essi sono legati all'utilizzo di materiali e prodotti derivanti da altre lavorazioni, al tipo di energia utilizzata, all'uso in fase di produzione di scarti di produzione di altre industrie o al riuso di elementi in laterizio all'interno di cicli produttivi di altri elementi che, a seconda del loro valore di scambio, aumentano o diminuiscono l'impatto ambientale dell'oggetto. Una nota pubblicità riguardante i materiali in laterizio recita "fatto solo con terra, acqua, aria e fuoco": questo è utile ad evidenziare come i prodotti in laterizio siano sani ed ecologici.

*Le prime analisi del ciclo di vita (il cui slogan "from cradle to grave" - dalla culla alla tomba - simboleggia la globalità dell'approccio dell'indagine) risalgono alla fine degli anni '60 dello scorso secolo, quando Harry Taesley, allora dipendente della compagnia Coca Cola, coordinò lo studio sui diversi contenitori per bevande: l'obiettivo della ricerca era quello di comparare differenti recipienti per determinare quale produceva il minore impatto sulle risorse.*

### Valutazioni ambientali

Per valutare l'impatto ambientale di un prodotto avvalendosi del Life Cycle Assessment (LCA, valutazione del ciclo di vita), una metodologia di analisi della produzione industriale, si deve considerare l'intero arco di vita così da stabilirne i diversi impatti sull'ambiente, diretti e indiretti. Proprio in questa ottica, la fase produttiva, comprensiva di scelta del sito, consumo energetico e materico, emissione di sostanze nocive e recupero paesaggistico, rappresenta una tappa fondamentale per stabilire il grado di sostenibilità di un prodotto.

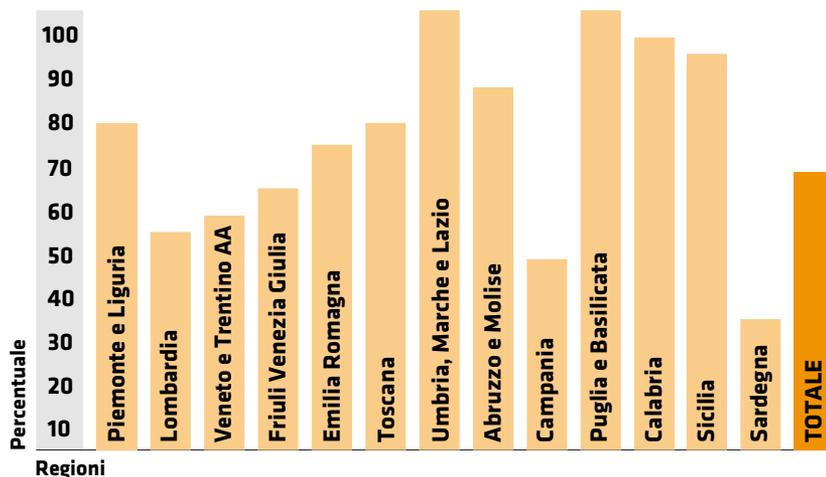
### Scelta del sito estrattivo

La scelta del sito estrattivo è uno dei passaggi più delicati dell'intero processo di produzione dei laterizi: la sua localizzazione, se adeguatamente valutata,

può contenere in maniera significativa gli effetti negativi sull'ambiente. La scelta della cava è condizionata da numerosi fattori che, partendo dalla qualità dell'argilla e dalle potenzialità di coltivazione, interessano la qualità del prodotto finito, i costi di lavorazione e di recupero dell'area. L'apertura e gestione di una cava è regolamentata dal Piano Cave che periodicamente le Regioni approvano: tale Piano tiene conto delle caratteristiche del terreno ed indica le aree da cui è possibile estrarre l'argilla.

Per prevenire il dissesto ambientale le autorizzazioni consentono di prelevare unicamente una circoscritta quantità di argilla e di scavare soltanto fino ad una profondità limitata. Gli enti locali (Comuni, Province e Regioni), attraverso funzionari e geologi, controllano periodicamente il rispetto dei vincoli e delle disposizioni dettate dalle autorizzazioni. Inoltre, sono sempre più frequenti le leggi e i regolamenti dell'Unione Europea che forniscono severe indicazioni a riguardo. Oltre alla disponibilità delle proprietà, aspetti condizionanti sono la distanza dell'impianto di estrazione dai siti utilizzati per le successive trasformazioni e la sua accessibilità e vicinanza alla rete stradale esistente.

La distanza da percorrere e le modalità di trasporto dei materiali, oltre ad un aggravio in termini di costi produttivi, producono un significativo impatto sulle infrastrutture stradali: oltre all'inquinamento acustico e atmosferico si segnala un incremento dei consumi energetici (figura 1). L'esperienza di molti produttori ha dimostrato come la distanza massima tra sito estrattivo e impianto di trattamento che garantisca comunque una convenienza economica per una azienda non deve essere superiore a 50,0 km circa.



**Fig 1. Percentuale di aziende che hanno le cave per l'approvvigionamento dell'argilla ad una distanza inferiore ai 10,0 km. Il ricorso a fonti di approvvigionamento dell'argilla distanti dalle fornaci può comportare un forte impatto ambientale, oltre che economico, dovuto al trasporto di materie prime. Fortunatamente la maggior parte delle Regioni italiane non denota problematiche particolari nel reperimento di argille in quanto le cave sono per lo più (il 65% del totale) a meno di 10,0 km dagli stabilimenti.**

## Prelievo delle risorse

Dopo l'incontrollato sfruttamento e gestione delle risorse naturali che per secoli ha trovato giustificazione nella convinzione che queste fossero illimitate, negli ultimi decenni si è diffusa la consapevolezza che il progresso tecnico-scientifico può trovare un limite nell'esauribilità delle risorse naturali e, più in generale, nella capacità di sopportazione dell'ambiente. In un primo momento, il basso costo delle materie prime in molti Paesi ha frenato le ricerche sui materiali alternativi motivandone i comportamenti con la presunta illimitatezza della disponibilità di materiali di escavazione quali, ad esempio, l'argilla. Successivamente, anche per effetto del crescente livello di inquinamento ambientale, nonché per la possibilità di esaurire le fonti di approvvigionamento indispensabili per lo sviluppo, sono stati rinnovati l'interesse e l'attenzione verso l'ambiente. In particolare, si è coscienti che il flusso di consumo dei materiali stia facendo diminuire drasticamente la changing capacity del pianeta, con il rischio di escludere definitivamente le possibilità di accesso allo sviluppo, inteso come miglioramento della qualità della vita.

*Già poco dopo la metà del secolo scorso, in Inghilterra, dove con la rivoluzione industriale lo sfruttamento di risorse naturali diventa sistematico, si poneva la cosiddetta **questione del carbone**. Si sosteneva che c'era un'urgente minaccia per le attività industriali britanniche a causa dei crescenti costi dell'estrazione di carbone, dovendo quest'ultimo essere estratto a profondità progressivamente maggiori e non prevedendo la disponibilità di combustibili alternativi. Una concezione, quindi, che riteneva che il materiale necessario alle attività produttive presente in natura fosse in quantità finite, anticipando, di fatto, la necessità che questo dovesse essere attentamente economizzato.*

Il processo estrattivo avviene tramite macchine per il movimento di terra, le quali, dopo aver rimosso lo strato superficiale, e averlo accantonato per riutilizzarlo nelle successive operazioni di ripristino, procedono all'escavazione degli strati di argilla sottostanti.

Accanto ad opere di mitigazione, quali l'impiego di barriere antirumore o l'utilizzo di materiale fonoassorbente applicato ad alcuni macchinari, sono stati sviluppati nuovi sistemi di lavorazione e tecnologie atte ad eliminare i problemi legati all'inquinamento acustico e ambientale. Proprio a tale fine, per circoscriverne l'impatto sull'ambiente e limitare i disagi per le persone che vivono nelle vicinanze della cava, il lavoro delle macchine escavatrici, la continua movimentazione dei terreni e i continui cambiamenti imposti alla morfologia dei luoghi, hanno richiesto l'individuazione di soluzioni mirate a:

- limitare la produzione di rumori e polveri, coprendo i depositi di materiale e bagnando i piazzali;
- controllare l'impatto visivo dell'area aprendo il fronte di scavo in modo da diminuirne la visibilità;
- tutelare le acque profonde e superficiali, costruendo bacini di sedimentazione per le acque utilizzate nel processo o quelle meteoriche;
- salvaguardare la fauna locale.

Le attuali stime sulla disponibilità reale delle risorse a cui l'edilizia ha tradizionalmente attinto ha spinto i produttori di laterizi a cercare di risolvere il problema riconnettendo in un circuito unitario e circolare i due poli estremi del ciclo di trasformazione e consumo del loro prodotto (risorse e rifiuti), allo scopo di utilizzare meglio le materie prime e non incrementare la già imponente massa di rifiuti.

## Impiego di additivi

Nel corso della storia, per ottimizzare le materie prime e modificare le proprietà dei prodotti, più volte sono stati impiegati diversi espedienti, primo fra tutti l'aggiunta di paglia sminuzzata nell'impasto di argilla, usata per ridurre inconvenienti nell'essiccazione ed abbassare la densità dell'impasto ceramico cotto. Ancora oggi per il desiderio di ampliare la gamma di produzione, oltre che per la necessità di rispettare le sempre più severe direttive in materia di estrazione e ricostruzione del territorio, persistono le condizioni favorevoli per tentare l'aggiunta di materiali additivi all'impasto argilloso. Questi additivi agiscono come materie prime ausiliarie o per migliorare le caratteristiche dei semilavorati, rendendone più facile la lavorazione, innalzando le caratteristiche prestazionali e la qualità del prodotto finito. Nel rispetto delle norme esistenti è possibile avviare a riciclaggio gli scarti di lavorazione o attraverso il riuso da parte della medesima industria, o utilizzandoli come prodotti vendibili ad altri settori industriali o ad altri utenti. Ciò apporta un considerevole beneficio ambientale in quanto non solo riduce gli oneri e i problemi connessi allo smaltimento, ma limita il consumo di risorse ed energia necessarie alla fabbricazione di prodotti aventi le stesse caratteristiche e non spreca quella incorporata nei materiali nei processi che li hanno prodotti. A tale proposito, scorrendo il D.Lgs. 05.02.1997, n. 22, "Attuazione delle direttive 91/156/CEE relativa ai rifiuti, 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi e 94/62/CEE relativa agli imballaggi e rifiuti di imballaggi", si scopre che l'industria dei laterizi, insieme ai cementifici e pochi altri soggetti, è nel ristretto elenco dei riutilizzatori privilegiati. Il settore dei laterizi nel 2000 ha prodotto 65.893 tonnellate di rifiuti a fronte di 256.411 tonnellate di scarti recuperati per un rapporto tra consumo e recupero di quasi 1 a 4, sicuramente tra i più alti in ambito produttivo. Gli additivi impiegati nell'industria dei laterizi, per migliorare il processo produttivo e le proprietà finali dei materiali, si possono dividere, secondo la loro composizione, in:

**1.** materiali combustibili (fanghi di cartiera, segatura di legno, scarti dell'estrazione e della lavorazione del carbone, scarti dell'industria tessile, ecc.);



2. materiali non combustibili (sabbia quarzosa, polveri e sabbie di pietre naturali, farina di vetro, sabbie di fonderia, ecc.).

I materiali combustibili presentano un elevato contenuto di sostanze organiche e/o carboniose che assicurano un significativo potere calorifico. Questi materiali concorrono alla produzione di laterizi apportando due grandi vantaggi: in primo luogo durante la combustione contribuiscono, con il loro apporto calorico, a ridurre automaticamente l'impiego di costosi carburanti primari e quindi a ridurre il consumo energetico; in secondo luogo, per la loro naturale attitudine a formare delle microcavità, contribuiscono a garantire un ulteriore accrescimento delle prestazioni termiche del prodotto finale. Per contro, tra i vantaggi dei materiali non combustibili, oltre a quello di potere avere alcune caratteristiche fisico-chimiche simili a quelle delle argille per laterizi, c'è quello di richiedere una minore quantità di acqua per assumere una buona lavorabilità e, di conseguenza, di ridurre i tempi necessari alla essiccazione dei manufatti. Tra le due soluzioni, l'emergenza energetico-ambientale degli ultimi decenni ha ovviamente privilegiato l'impiego di materiali combustibili, dando un forte impulso agli studi riguardanti il loro impiego che, in prospettiva futura, possono garantire un significativo risparmio energetico anche se utilizzati in quantità ridotte.

## Consumo e recupero energetico

A seconda delle caratteristiche richieste, le temperature di cottura degli elementi in laterizio oscillano tra i 800 e i 1.150 °C. L'incidenza del fattore energetico sulla determinazione del costo finale del prodotto finito ha sempre indirizzato gli operatori del settore ad una continua ricerca per il miglioramento degli strumenti produttivi attraverso l'uso di nuove tecnologie e l'ottimizzazione del ciclo produttivo (tabella 1).

È possibile mettere a punto un sistema produttivo che non solo consumi meno energia ma, poiché ottimizzato nelle varie fasi e nei suoi comportamenti, porti anche a costi di produzione minori. Le certificazioni ISO 14000, oltre alla procedura Emas, sono la dimostrazione di un interesse che persegue il risparmio energetico con la riduzione del peso ambientale della produzione. I dati indicano che, attraverso questo processo di ottimizzazione in atto, la quantità di energia utilizzata per unità di prodotto nell'industria dei laterizi, dal 1985 al 2001, si è ridotta del 25% circa. Numerose aziende hanno cercato di recuperare l'energia prodotta e, in particolare, il calore dei forni per il riscaldamento dell'aria degli essiccatoi. La diversa provenienza di materie aggiunte all'impasto originale contribuisce alla combustione con dei valori di potere calorifico molto diversi, che vanno da un minimo di 350 kcal·kg<sup>-1</sup> (ceneri volanti) ad un massimo di 4.500 kcal·kg<sup>-1</sup> (segatura): ovviamente le migliori prospettive concernono i materiali ricchi in sostanze organiche, in quanto la loro combustione in fase di cottura permette, anche se usati in quantità ridotte, un risparmio energetico significativo.

Per l'attribuzione del proprio marchio di qualità bioecologico l'ANAB (Associazione Nazionale dell'Architettura Biologica) valuta i seguenti aspetti:

- impiego di risorse naturali;
- inquinamento dell'acqua, dell'aria e del suolo;
- inquinamento acustico, perdite di calore, radiazioni, campi elettromagnetici e radioattività;
- effetti su benessere e salute;
- effetti sulla biocenosi;
- vie di trasporto e modal spilt;
- imballaggio (peso, dimensioni,
- materiale usato, ritiro);
- manutenzione, conservazione,
- cura, durata;
- riciclabilità;
- possibilità di trattamento termico;
- idoneità allo smaltimento in discarica.

N.	MATERIALE	ENERGIA DI PRODUZIONE MJ/KG
01	Alluminio	25,0-45,0
02	Calcestruzzo gettato in opera	150,0-220,0
03	Cemento	2,3
04	Cemento fibra	5,0-6,0
05	Laterizi	7,6
06	Materie plastiche	1,7-2,7
07	Pietra importata	80,0-220,0
08	Pietra locale	13,9
09	Rame	5,9
10	Vetro	70,0-170,0
11		13,0

**Tab 1.** Energia di produzione per i principali materiali da costruzione [fonte: Paolella, A.; Minacci R. (a cura di) "Cambiamenti climatici ed edilizia", *Allegato di Attenzione*, Roma, n. 19 (aprile 2003), p. 19].

## Emissioni nocive in fase produttiva

Relativamente al potenziale impatto ambientale dovuto alle emissioni di polveri e prodotti in fase di combustione, oramai tutti gli impianti produttivi presenti sul territorio nazionale sono dotati di sistemi di lavaggio dei fumi e abbattimento delle polveri. Alla ricerca per la riduzione dei consumi energetici si è affiancata la preoccupazione per il tipo di energia utilizzata (provenienza da fonti rinnovabili o meno, costi ambientali per la sua produzione, distribuzione ed uso, ecc.). Le strategie messe in atto all'interno del settore produttivo tendono a utilizzare combustibili più economici ma anche più efficienti. L'incidenza dell'energia prodotta da oli combustibili è diminuita, dal 1985 al 2001, dal 65% al 17%, a tutto vantaggio di quella prodotta da gas metano passata, nello stesso periodo, dal 25% al 74%. Uno spostamento significativo, soprattutto se si considera il minor inquinamento che comporta l'uso del metano nei confronti degli oli combustibili. Il miglioramento degli impianti e le scelte sui combustibili si sono tradotti in una diminuzione delle quantità di anidride carbonica emessa (circa il 16% in meno dal 1985 al 2001) ed in una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di prodotto (circa il 35% dal 1985 al 2001).

## Recupero dei siti industriali

Spesso accade che le attività di sfruttamento del territorio seguano una logica di carattere puramente economico senza considerare le questioni ambientali. Fortunatamente, se da un lato l'amministrazione pubblica ha contribuito con l'emanazione di nuove disposizioni in materia di tutela ambientale che hanno colmato il vuoto legislativo esistente, dall'altro alcuni operatori economici hanno maturato una differente consapevolezza ecologica riducendo progressivamente l'impatto ambientale dei nuovi interventi antropici.

Una volta cessata l'attività produttiva, lo stabilimento, ove economicamente e tecnicamente fattibile, può essere riconvertito per ospitare nuove funzioni di pertinenza della nuova area realizzata sul sito della cava. Si viene così a ristabilire, tramite un progetto funzionale di ripristino e riuso, la continuità tra le diverse aree interessate alla produzione e l'immediato intorno.

Il progetto di recupero della cava deve, infatti, sempre originarsi dalle considerazioni proprie del luogo (delle sue caratteristiche naturali, delle serie vegetazionali, della fauna e dei corsi d'acqua presenti), dai caratteri insediativi e dalle modalità con cui si è proceduto all'estrazione dell'argilla (l'ampiezza, la profondità e la morfologia dello scavo, le caratteristiche e le quantità dei materiali rimasti sul sito). Al momento della chiusura di un sito estrattivo viene portato a compimento il progetto di recupero della cava che può essere volto o a ripristinare la situazione precedente o a nuove e diverse destinazioni. L'uso successivo per coltivazioni è definito in base ai caratteri morfologici delle cave ed alla loro localizzazione geografica: ad esempio, le cave a fossa non profonde, situate in aree coltivate, solitamente sono recuperate alla produzione agricola mentre la vicinanza ad aree urbane può aprire la riflessione su destinazioni più articolate.

Il recupero ambientale si configura comunque come un progetto generale di governo del territorio, nel cui ambito vanno inquadrare le attività di estrazione. Per rendere più rigorosa questa richiesta alcune Regioni italiane hanno introdotto il divieto di trasformazione dei siti estrattivi in discariche. Le aree estrattive determinano una interruzione strutturale e percettiva nell'unità paesaggistica interessata. È perciò inevitabile una attenta analisi ambientale preventiva che permetta di controllare gli effetti negativi derivanti dalla modifica del paesaggio. Le cave di pianura, le più diffuse, hanno un impatto ambientale sicuramente più contenuto rispetto alle cave collinari che, sebbene molto rare, richiedono interventi di recupero più complessi e delicati.

Nel corso dei decenni gli interventi di recupero finalizzati a definire aree verdi attrezzate, zone sportive, turistiche, naturalistiche, ad elevata fruibilità sono sensibilmente aumentati. Una volta terminata l'attività estrattiva le cave vengono riqualificate rimodellando il profilo paesaggistico e rendendo il terreno nuovamente disponibile. Per assicurarsi che questo avvenga sono stati predisposti due vincoli:

1. ancora prima del rilascio delle necessarie autorizzazioni le aziende interessate alle operazioni estrattive sono obbligate a predisporre un piano di recupero ambientale dell'area;
2. le stesse aziende devono depositare una garanzia bancaria per il ripristino ambientale dell'area attraverso fideiussioni.

La redazione contemporanea del progetto della cava di estrazione e di quello di ripristino ambientale è fondamentale perché, attraverso la loro integrazione, è possibile arrivare ad un processo unitario di estrazione e ripristino.

Le modalità e le fasi di estrazione vengono infatti definite tenendo conto delle azioni che dovranno essere compiute in seguito per recuperare i luoghi a seconda della loro futura destinazione. Nello stesso tempo è così possibile iniziare il lavoro sull'area variando in alcuni casi il tipo di coltivazione e modificandone la morfologia. I due progetti perciò, finalizzati all'estrazione e al recupero ambientale, si vengono a fondere fin dall'inizio in una serie di azioni e operazioni una anticipatrice dell'altra. Spesso la fase di ripristino è contemporanea alla fase di scavo: succede che durante l'escavazione alcune zone si rinverdiscono riducendo l'impatto visivo. Successivamente si ricorre allo sviluppo di una vegetazione cosiddetta pioniera affiancata da specie arboree simili a quelle preesistenti all'escavazione (o comunque autoctone) al fine di ripristinare la peculiarità della flora locale.



**Fig.3. Fase di tombamento di una cava con inerti e successiva piantumazione a pioppeto nell'area di una ex cava.**

## Requisiti e criteri di progettazione

Valutando la più recente panoramica architettonica si può rilevare la crescente attenzione riservata dai progettisti nei confronti dell'ambiente.

In alcuni Paesi dell'Europa centro-settentrionale tale rapporto ha condotto alla riconsiderazione dei processi edilizi in una prospettiva ambientalista generando la Baubiologie (biologia del costruire), una corrente che cerca di coniugare scienze naturali e architettura.

Ciò che unisce le diverse espressioni dell'architettura ecologica sono le risposte legate al benessere e alla salute degli utenti, alla salubrità dell'ambiente e alla protezione della natura. Tali esigenze, sempre presenti nella architettura storica, sono state per lunghi decenni trascurate a causa dello sviluppo di economie che tendono a ignorare i costi sociali legati alla dilapidazione di risorse naturali e al danno della salute degli uomini. Oltre che nella scelta di soluzioni meno invasive per l'uomo e per l'ambiente, in fase progettuale si dovrebbero prediligere materiali a minore impatto ambientale.

In quest'ottica il processo di costruzione può essere interpretato anche come il frutto di una successione di fasi strettamente correlate tra loro che richiedono la partecipazione di molti operatori che sono chiamati ad occuparsi della gestione dei materiali e dei componenti edilizi. Interessi e compiti risultano assai differenti, ma il ruolo di ogni soggetto coinvolto è fondamentale per la corretta gestione delle risorse materiche ed energetiche oltre che per la contrazione dei volumi da destinare alla discarica per effetto dell'incidenza del riciclaggio e del riuso. Nei loro rispettivi campi d'attività, i progettisti dovrebbero pertanto avere un'adeguata conoscenza dei materiali e delle tecnologie a disposizione. In questo senso, fra le diverse componenti che influenzano la scelta dei materiali, il progettista dovrebbe prediligere la loro longevità, così da ridurre quegli interventi di manutenzione e di sostituzione che troppo spesso producono rifiuti e consumano energia. I materiali tradizionali come il laterizio, che nel bacino mediterraneo è presente da sempre e che risulta

Il termine **Baubiologie** significa *biologia edile (bau, edilizia e biologie, biologia): il neologismo è stato coniato in analogia ai termini Bauphysik e Bauchemie, corrispondenti alla fisica e chimica applicate all'edilizia. Il principale interesse della Baubiologie, sorta in Germania negli anni Sessanta dello scorso secolo, è rivolto alla salute degli abitanti, al loro benessere fisiologico, psicologico e sociale: essa riconduce le principali cause di malessere nell'alienazione dell'uomo dalla natura e nello stile di vita delle società moderne. Proprio per questo motivo, in Germania la Baubiologie è considerata un movimento di consumatori piuttosto che di tecnici.*

radicato nel concetto stesso di durevolezza in architettura, garantiscono caratteristiche e prestazioni sicure e controllate. Il progettista può prediligere soluzioni che richiedono un minor impegno materico: così facendo, si riduce anche l'impatto della nuova costruzione nei confronti dell'ambiente per effetto di un minor consumo di materie prime. La valutazione sull'idoneità di un materiale, quindi, può passare attraverso l'esame della quantità di esigenze cui questo è in grado di rispondere simultaneamente: più funzioni svolge, meno sprechi di risorse generali e quindi anche ambientali si verificano. Sulla scelta dei materiali non deve essere trascurato il controllo di non nocività, al fine di evitare quei prodotti destinati a diventare rifiuti speciali al termine della loro "vita utile". Emerge, dunque, come il progettista svolga un ruolo strategico per la salvaguardia del benessere ambientale.

In relazione agli aspetti ambientali, sono sempre più frequenti i supporti informatici che agevolano le scelte progettuali. Uno dei più interessanti è senza dubbio quello messo a punto dall'Institut Für Industrielle Bauproduktion dell'Universität di Karlsruhe: il programma permette di valutare il comportamento energetico ed ambientale del fabbricato e di confrontare il suo impatto al variare delle scelte progettuali. Inseriti i dati relativi alla tipologia, alle soluzioni tecnologiche e ai materiali impiegati, il programma visualizza un diagramma a cerchi concentrici che esprimono i valori di impatto delle stesse soluzioni per ciascuna categoria considerata (effetto serra, consumo di risorse, consumo d'acqua, consumo d'energia, tossicità per l'uomo, produzione di rifiuti, ecc.). I valori di impatto sono compresi tra 0 e 1: tanto più i valori si avvicinano all'unità tanto più accettabile è la soluzione (figura 4).

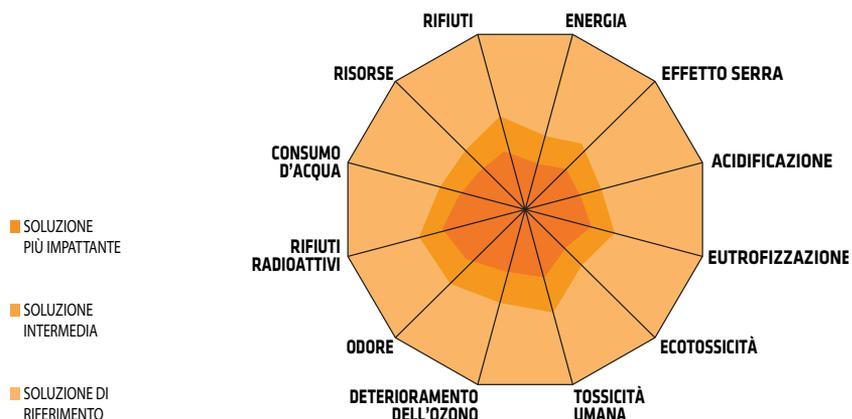
## Valutazioni ambientali sulla fase di posa in opera

In relazione alla natura specifica del materiale, il cantiere in laterizio presenta un livello ridotto di rischio ambientale perché produce poche polveri e rifiuti, non implica cattivi odori e, in virtù di processi di messa in opera che raramente richiedono il ricorso a lavorazioni pesanti e l'impiego di macchinari speciali, generalmente è poco rumoroso.

Nella fase di approntamento del cantiere, lo stoccaggio dei prodotti in laterizio non richiede particolari accortezze, dal momento che i prodotti in argilla non comportano nessun rischio per gli operatori del cantiere e per quanti vivono o lavorano nelle vicinanze del cantiere stesso.

Lo stoccaggio e la movimentazione richiedono semplici operazioni di protezione degli elementi, quali la sistemazione su superfici piane e asciutte, in modo da evitare il diretto contatto col terreno e il conseguente assorbimento di sostanze che possano causare efflorescenze o scarsa adesione con le malte, e la protezione dalla pioggia, così da evitare il danneggiamento da gelo nei mesi invernali.

**Fig 4.** Simulazione di grafico realizzato con il software dell'Institut für Industrielle Bauproduktion.



Analogamente, in fase di costruzione pur essendo necessarie misure di protezioni personali (quelle che rientrano nella pratica corrente, come mascherine, guanti, ecc.) il sistema non può essere considerato di grande impatto ambientale.

L'attività di costruzione produce comunque rifiuti che, se non correttamente gestiti, costituiscono la principale voce negativa nel bilancio ambientale di questa fase del procedimento: si tratta in generale di "rifiuti puliti" quali le rimanenze di materiali (dovute ad esuberi negli ordini giornalieri), scarti di lavorazione, prodotti difettati e imballaggi. Per tali rifiuti inerti la normativa vigente consente il riutilizzo, previa valutazione della qualità ambientale, per la realizzazione di sottofondi, riempimenti e colmate, strati di fondazione, sistemazioni a verde, ecc., con la conseguente riduzione del volume da conferire in discarica.

Anche in questa fase il principale elemento di valutazione nel consumo di risorse è limitato dall'uso di acqua, necessaria per la preparazione delle malte e degli intonaci e per la bagnatura del laterizio.

## Valutazioni ambientali sulla fase d'uso

L'applicazione della Valutazione del Ciclo di Vita in fase d'uso comporta un approccio integrato che mette in relazione l'uso del prodotto e l'uso dell'edificio in cui il prodotto è collocato. Gli impatti generati da un edificio in fase di uso sono circa dieci volte superiori a quelli generati in fase di produzione e costruzione, per cui aspetti quali le prestazioni e la durabilità del prodotto risultano prioritari. Si consideri, inoltre, che è proprio nei luoghi confinati che l'uomo trascorre il 90% circa del proprio tempo.

Da alcuni anni, particolare attenzione è stata riservata al controllo dei rischi sanitari, misurando la qualità edilizia in relazione ai possibili disagi sulla salute generati dal costruito (sensazioni di malessere, fenomeni allergici, depressioni, stati d'ansia, stress, ecc.). Le mobilitazioni dell'opinione pubblica, che da anni si ripetono, sulla *Sick Building Syndrome* confermano questa crescente percezione dei rischi sanitari causati dagli inquinanti interni che portano alla valutazione di nuovi parametri quali l'emissione di composti organici volatili e semivolatili, l'emanazione di polveri, il comportamento all'umidità, la capacità di generare microrganismi, le emissioni radioattive, il comportamento in caso di incendio, ecc.

Relativamente all'impatto sulla qualità dell'aria, dalle ricerche condotte in molti Paesi europei si evince che i prodotti in laterizio si distinguono per una totale assenza di inquinanti durante la fase d'uso. A partire dal gennaio 2006 la certificazione energetica degli edifici (Direttiva 2002/91/CEE sul rendimento energetico nell'edilizia) è obbligatoria e il consumatore è chiamato ad utilizzare l'indicatore del consumo energetico (kWh/m<sup>2</sup> anno) per indirizzare la sua scelta abitativa.

Appare evidente come la regolamentazione termica abbia sempre più importanti ripercussioni sui materiali e sui sistemi costruttivi: l'importanza data ai ponti termici, alla trasmittanza e alla inerzia termica è sempre maggiore. Una progettazione energeticamente efficiente non può trascurare fattori quali, ad esempio, il ponte termico così da determinare un adeguato benessere e comfort abitativo oltre che di risparmio energetico. Il laterizio presenta anche una elevata permeabilità al vapore, che consente di mantenere una buona qualità dell'aria negli ambienti confinati.

Una costruzione in laterizio presenta un ottimo rapporto costi ambientali/benefici, soprattutto se rapportata alla vita utile dell'edificio. In sintesi, per i laterizi i consumi energetici e di risorse, le emissioni e la produzione di inquinanti che caratterizzano le fasi di produzione e costruzione sono largamente riassorbiti dai risparmi energetici e dal basso impatto ambientale conseguiti durante la fase in uso.

*Con il termine **Sick Building Syndrome (SBS)**, o **Sindrome dell'edificio malato**, si descrivono situazioni in cui gli occupanti di un edificio lamentano generici disturbi di salute, non riconducibili ad una malattia o ad una causa specifica, avvertibili solo ed esclusivamente durante la permanenza all'interno di un fabbricato. I fattori riconosciuti come causa di questa sindrome sono la ventilazione insufficiente, la contaminazione chimica da fonti interne, la contaminazione chimica da fonti esterne, la contaminazione biologica, ecc. Questi elementi possono agire combinati tra loro o con altri fattori (come un difettoso controllo di temperatura, umidità, illuminazione e rumorosità ambientale) determinando una diminuzione del comfort ambientale ed un rischio non trascurabile per la salute. Gli occupanti lamentano sintomi riconducibili a sensazioni di disagio acuto, come ad esempio cefalea, irritazione di occhi, naso e gola, tosse secca, pelle disidratata, vertigini o nausea, difficoltà di concentrazione, affaticamento, particolare sensibilità agli odori, ecc.*

**Fig 5. Massimo Gennari. Complesso residenziale, Cerbaia (FI) 2003-05.**



## Qualità dell'aria e sostanze inquinanti negli ambienti confinati

**Tab 2. Limiti massimi di accettabilità di inquinanti presenti nell'aria di ambienti confinati.**

**Legenda:**

**a: Comunità Economica Europea (CEE)**

**b: Health & Welfare (Canada)**

**c: Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)**

**d: Environmental Protection Agency**

**e: America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE, Stati Uniti)**

**1: Action level (livello di riferimento per le costruzioni esistenti)**

**2: Target level (livello da applicarsi alle costruzioni future)**

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità oltre il 30% degli edifici dei Paesi industrializzati presenta problemi di inquinamento interno che sono nocivi per gli utenti. In un edificio la salubrità dell'aria dipende da molti fattori quali la localizzazione, la scelta del terreno, la tipologia, le soluzioni tecniche, i materiali e i prodotti edilizi, gli impianti di climatizzazione, ecc.

L'aria degli ambienti confinati, che sempre più spesso risulta più inquinata di quella esterna, può contenere sostanze nocive di varia natura ed in concentrazioni tali da essere causa di malattie per l'uomo. Con riferimento allo statunitense ASHRAE 62-89 (*Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*) l'aria interna di qualità accettabile è definita come "l'aria in cui non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose secondo quanto stabilito dalle autorità competenti e rispetto alla quale la maggioranza delle persone (almeno l'80%) non esprima insoddisfazione". Tale definizione di qualità dell'aria interna considera al contempo parametri oggettivi (concentrazione di contaminanti) e parametri soggettivi (insoddisfazione), questi ultimi valutati su base statistica. Il controllo della qualità dell'aria investe tutte le fasi del processo realizzativo, dal progetto alla costruzione (scelta dei materiali da costruzione e della tipologia impiantistica), dal collaudo alla gestione (adozione di strategie di controllo e gestione che garantiscano il mantenimento della qualità pianificata). La qualità dell'aria in un edificio è fortemente influenzata anche dal rispetto delle normative che disciplinano la realizzazione dell'edificio e da quelle che garantiscono la non nocività dei prodotti da costruzione.

	AGENTE INQUINANTE	CONCENTRAZIONE MASSIMA	TEMPO DI ESPOSIZIONE
CO <sub>2</sub>	Anidride carbonica	6,3x(10 <sup>6</sup> ) µg/m <sup>3</sup>	Media annuale (b)
CO	Ossido di carbonio	≤10x(10 <sup>3</sup> ) µg/m <sup>3</sup>	8 ore (c, e)
NO <sub>2</sub>	Biossido di azoto	100 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale (b, d, e)
		150 µg/m <sup>3</sup>	24 ore (c)
SO <sub>3</sub>	Biossido di zolfo	≤50 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale (b)
O <sub>3</sub>	Ozono	240 µg/m <sup>3</sup>	1 ora (b)
VOC	Composti Organici Volatili	30-50 µg/m <sup>3</sup>	Continua (d)
HCHO	Formaldeide	120 µg/m <sup>3</sup> (1)	Media annuale (b)
		60 µg/m <sup>3</sup> (2)	Media annuale (b)
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici	160 µg/m <sup>3</sup>	3 ore (d)
Pb	Piombo	1,5 µg/m <sup>3</sup>	3 mesi continuativi (d)
Rn	Radon	400 µg/ m <sup>3</sup>	Media annuale (a)
		200 µg/m <sup>3</sup>	Target futuro annuale (a)

Oltre al suddetto statunitense standard ASHRAE, per la salubrità indoor si può fare riferimento alle raccomandazioni che il Canada ha elaborato in "Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality". Le sostanze che possono avere effetti dannosi sulla salute dell'uomo sono distinte in sostanze non cancerogene e sostanze cancerogene. Per il primo gruppo sono stati indicati valori quantitativi in termini di concentrazione mentre per il secondo le raccomandazioni sono relative a misure da adottare per ridurre il rischio espositivo. Più in generale, la tabella 2 riporta i limiti di accettabilità per le concentrazioni di sostanze inquinanti presenti nell'aria interna proposti da diversi enti normatori internazionali. In Italia i riferimenti normativi si limitano a pochi decreti che regolamentano i livelli massimi di inquinamento

esterno, quali il D.P.C.M. 28.03.1983, “Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell’aria nell’ambiente esterno”, modificato dal D.P.C.M. 24.05.1988, n. 203, “Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell’aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell’art. 15 della legge 16 aprile 1987 n. 183”, ed il D.M. 12.11.1992, “Criteri generali per la prevenzione dell’inquinamento atmosferico nelle grandi zone urbane e disposizioni per il miglioramento della qualità dell’aria”.

## Emissioni nocive

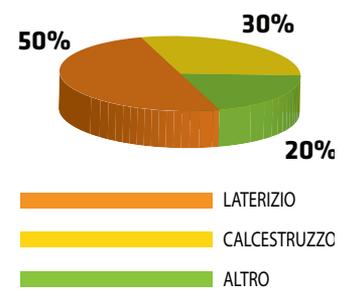
Gli inquinanti che interessano materiali come il laterizio possono essere di natura biologica, come ad esempio funghi e muffe, e di natura fisica, ovvero isotopi che emettono radiazioni ionizzanti. I funghi e le muffe si originano e proliferano su supporti idonei (organici, ecc.) per alte concentrazioni di umidità relativa ( $\geq 50\%$ ) e possono intaccare i rivestimenti delle pareti e dei soffitti in punti critici, quali i ponti termici, ove una struttura non ben isolata può dar luogo a fenomeni di condensa. I radioisotopi naturali, quali Uranio, Torio, Radio e Potassio, sono contenuti, oltre che nei materiali da costruzione (tufo, granito, cementi, argille, sabbie e marne), anche nel suolo e nell’acqua potabile di rete. Dal decadimento del Radio-226 per emissione di particelle alfa si origina il Radon-222; a sua volta questo gas decade originando i cosiddetti “radon daughters” (Polonio-218, Piombo-214, Bismuto-214 e Polonio-214) che, avendo emivite inferiori a 30 minuti ed essendo chimicamente attivi, possono attaccarsi alle particelle di polvere formando un aerosol radioattivo. I livelli di concentrazione di Radon negli ambienti chiusi dipendono da alcune caratteristiche dell’ambiente esterno ed interno. Fra le più importanti si possono ricordare la struttura geologica del terreno, le tecniche costruttive adottate, i livelli di ventilazione dell’edificio, i materiali utilizzati nell’edificio. La stima del contenuto di radionuclidi naturali (Radio-226, Torio-232 e Potassio-40) nei materiali da costruzione è fondamentale al fine della valutazione del rischio espositivo per l’uomo, espresso in termini di accettabilità di radiazione gamma. L’introduzione di una soglia di esposizione potrebbe limitare la dose di irradiazione gamma proveniente dai materiali da costruzione a 1,5 mGy. Verificando la seguente espressione si ottiene la conformità relativa alla irradiazione gamma:

$$(A_{Ra}/370) + (A_{Th}/259) + (A_K/4810) < 1 \text{ (Bq/kg)}$$

dove:

- A attività specifica media del nuclide per i materiali dell’abitazione, espressa in Bq/kg;
- Ra Radio-226;
- Th Torio-232;
- K Potassio-40.

I risultati dell’indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, condotta dall’ISS (Istituto Superiore di Sanità) e dall’ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente) su un campione di oltre 8.000 abitazioni, hanno dimostrato come la concentrazione interna di Radon nelle abitazioni ed i livelli di radiazione (gamma), attribuibili ai materiali da costruzione, siano sensibilmente inferiori al livello massimo indicato dalle Raccomandazioni della Comunità Europea. Da questa e altre indagini è emerso che fra i materiali a più alto contenuto di radioattività si collocano materiali lapidei quali il tufo ed il granito, mentre i laterizi, il cui contenuto di radioattività è influenzato dalle caratteristiche dell’argilla e dalla provenienza della stessa, possono essere considerati materiali a basso contenuto di radionuclidi risultando pertanto poco attivi nell’apporto di Radon all’interno delle abitazioni.



**Fig 6. La quantità di macerie miste contenenti laterizio è pari al 50% del totale.**

## Valutazioni ambientali sulla fase di dismissione



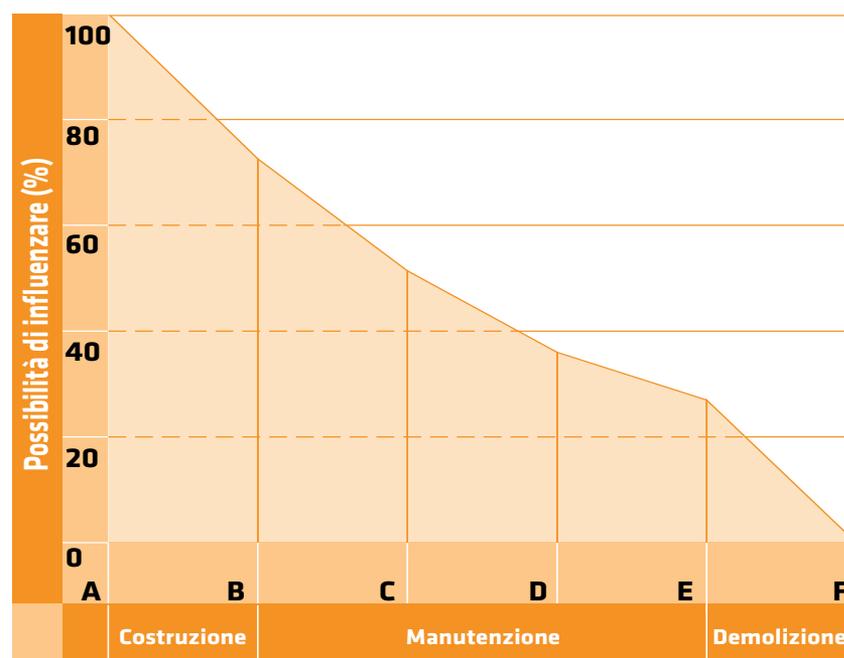
**Fig 7. Complesso residenziale Taviel a Saint-Omer (F).**  
Nel dettaglio, immagine dei mattoni recuperati e accatastati in attesa del reimpiego.

Il sistema di gestione dei rifiuti attualmente in uso, derivanti dalla demolizione degli edifici al termine della loro vita utile, produce una quantità notevole di macerie miste contenenti laterizio (figura 6). Tali macerie possono essere comunque utilizzate in una serie di applicazioni, alcune delle quali sono già pratica corrente nel settore delle costruzioni. Quando possibile, ad esempio, gli elementi in laterizio vengono riutilizzati: è questo il caso della cinquecentesca prigione di Saint-Omer in Francia da cui sono stati recuperati molti dei materiali impiegati per realizzare sullo stesso sito i 49 alloggi del complesso Taviel (figura 7). Perché tutto questo possa avvenire, il recupero non deve essere distruttivo bensì “sostenibile” dato che è necessario che i componenti mantengano la loro fisionomia iniziale per poter essere reimpiegati senza che le operazioni di ripristino diventino troppo lunghe e costose. Una grande quantità di prodotti edili è già reperibile nei depositi delle diverse Borse dei rifiuti. In assoluto, perché un prodotto riciclato sia accettato sul mercato deve rispettare almeno i seguenti requisiti:

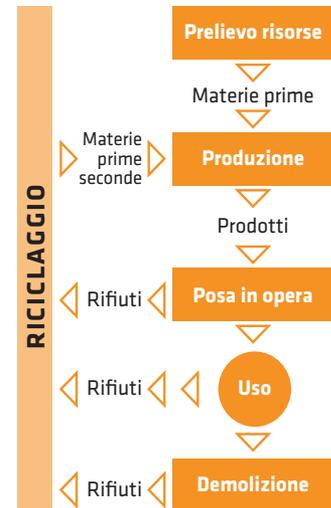
1. deve garantire delle prestazioni in opera non inferiori a quelle ottenute con prodotti tradizionali;
2. il prezzo del prodotto riciclato, materia prima seconda, deve essere competitivo con quello dello stesso prodotto ottenuto con materie prime.

Purtroppo capita spesso che il costo della raccolta e del trattamento renda il prezzo delle materie prime seconde non concorrenziale con quello delle materie prime, ponendo così molti problemi di carattere tecnico per la quantità e le caratteristiche delle sostanze da trattare. Tuttavia, verificate le caratteristiche tecniche quali, ad esempio, la resistenza a compressione, anche le macerie edilizie che non contengono elementi integri possono essere riutilizzate. Adeguatamente frantumato il laterizio può essere trasformato in inerte ed impiegato come tale per i riempimenti di scavi o la realizzazione di sottofondi di pavimentazioni e costruzioni stradali. Il laterizio, sempre in qualità di inerte, può essere inoltre utilizzato anche per la produzione di elementi per murature o, come avviene abitualmente in molti Paesi europei, per la produzione di terra per campi da tennis. Una delle soluzioni più indicate è quella che prevede l'impiego di laterizio frantumato come substrato per il giardinaggio (dalla terra alla terra). Tutte queste soluzioni sfruttano però soltanto parzialmente le potenzialità del laterizio come materia prima seconda.

**Fig 8. Possibilità (%) di influenzare la qualità e la quantità di rifiuti prodotti nella fase di costruzione (A-B), di manutenzione (B-E) e demolizione (E-F). La prima fase viene detta di “azione” mentre le ultime due sono definite di “reazione”.**



Le ricerche più avanzate in questo settore, anche se ancora in fase embrionale, come quelle effettuate in Germania e nel nostro Paese, si muovono in una nuova direzione: l'ambizioso traguardo è quello di concepire un nuovo elemento per murature realizzato interamente con laterizio riciclato. Le prime prove in tale senso confermano che per la realizzazione di elementi con caratteristiche meccaniche contenute, quindi per elementi di partizione interna o tamponamento esterno, le qualità specifiche di questi prodotti garantiscono prestazioni non inferiori a quelle ottenute con i prodotti abituali.



**Fig 9. Ciclo di vita ideale di un prodotto in laterizio.**

#### **Bibliografia essenziale**

- AA.VV. *Guida all'industria estrattiva e al riciclaggio*, IV edizione, edizioni Pei, Parma 2002.
- ANDIL *Laterizio e natura. La Riqualificazione Ambientale delle Cave d'Argilla*, Edizioni Latersevice, Roma 2005.
- ANDIL *Secondo Rapporto Ambientale dell'Industria Italiana dei Laterizi*, Edigraf, Roma 2005.
- Bonadè, A.; Lusignani, G. *Cave di argilla: coltivazione, recupero ambientale, sicurezza*, Andil, Roma 2000.
- ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale delle abitazioni*, Istituto Superiore di Sanità 1994.
- Omodeo Salè, S. *Verdeareo dell'architettura*, Maggioli editore, Rimini 1997 Paoletta, A. Minacci R. (a cura di), *Cambiamenti climatici ed edilizia, Allegato di Attenzione*, n. 19, Roma 2003.
- Rigamonti, E. *Il riciclo dei materiali in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini 1996.
- Torricelli, M. C. (responsabile scientifico), *Analisi del ciclo di vita di prodotti in laterizio. Fasi di post-produzione*, Ricerca ANDIL - Dip.TAeD, 2004-06.

#### **Riferimenti normativi**

- D.P.C.M. 28.03.1983, "Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti nell'aria dell'ambiente esterno".
- D.P.R. 24.05.1988, n. 203, "Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 87 n. 183".
- Direttiva 89/106/CEE, "Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione".
- Regolamento 880/92/CEE, "Sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica".
- D.M. 12.11.1992, "Criteri generali per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico nelle grandi zone urbane e disposizioni per il miglioramento della qualità dell'aria".
- D.Lgs. 05.02.1997, n. 22, "Attuazione delle direttive 91/156/CEE relativa ai rifiuti, 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi e 94/62/CEE relativa agli imballaggi e rifiuti di imballaggi".
- D.M. 27.07.2004, "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Integrazione della voce 13.18, Allegato 1, Suballegato 1, del decreto 5 febbraio 1998, recante individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22".

## 2|5 IL PROFILO AMBIENTALE DELLE COPERTURE IN LATERIZIO

di Caterina Gargari, Elisa Innocenti, Elisabetta Palumbo

La direttiva europea sui prodotti da costruzione, Construction Products Directive (CPD) 89/106/CEE, recepita in Italia con il DPR 246/93, è stata emanata con l'obiettivo di assicurare la libera circolazione dei prodotti stessi per il superamento di qualsiasi barriera protezionistica nazionale nei Paesi della Comunità Europea attraverso la condivisione e accettazione dei relativi requisiti nell'ambito di prescrizioni tecniche armonizzate. A tale proposito, la marcatura CE aiuta il consumatore ad identificare prodotti ad alte prestazioni generati all'interno di un processo controllato, permettendo di compiere scelte sicure e informate. Nell'ambito del programma triennale di semplificazione, la Commissione Europea ha varato, nel maggio 2008, una proposta per un "Regolamento dei prodotti da costruzione" (*Construction Products Regulation, CPR*)<sup>(1)</sup> che andrà a sostituire nel 2011 la CPD, modificandola sostanzialmente. Oltre all'introduzione di un sistema flessibile di certificazione, il CPR prevede, in aggiunta agli esistenti, distinto dal requisito sul risparmio energetico, un settimo "parametro" base relativo agli aspetti di sostenibilità delle opere nel loro ciclo di vita, e più precisamente: "uso sostenibile delle risorse naturali": [...] *Gli edifici devono essere [...] progettati e costruiti in modo tale che l'uso di risorse naturali sia sostenibile e assicurati:*

- *la durata delle opere;*
- *la riciclabilità delle opere, dei materiali e delle loro parti dopo la loro demolizione;*
- *l'impiego di materie prime e seconde eco-compatibili.*

L'aver incluso questo settimo requisito base tra i requisiti essenziali della marcatura CE presuppone l'esistenza di metodi armonizzati per la valutazione della sostenibilità delle opere edilizie, e per questo la Commissione ha, quindi, previsto una rilettura di tutti i mandati affidati al CEN, European Committee for Standardization, affinché la "sostenibilità" sia inclusa in tutti i pertinenti progetti di norma EN attualmente in corso di elaborazione, integrandone i contenuti e le specifiche tecniche.

### Lo standard prEN 15804

Il gruppo di lavoro del TC 350 WG4, Product level<sup>(2)</sup>, si sta occupando, avendo ricevuto uno specifico incarico, di redigere lo standard prEN 15804, Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. Esso definisce i metodi di calcolo e la struttura delle "dichiarazioni ambientali" dei prodotti da costruzione (EPD), individuando le regole di calcolo secondo la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*), i criteri per la raccolta e l'elaborazione dei dati di inventario, i contenuti obbligatori dell'EPD, le indicazioni aggiuntive, nonché le procedure per la verifica e validazione dell'EPD da parte di soggetti indipendenti. Lo standard costituisce, pertanto, il documento guida per ogni esperto LCA, in grado di assicurare quella riproducibilità e misurabilità dei risultati che oggi di fatto manca e che rende difficile l'interpretazione e l'uso dei diversi certificati/dichiarazioni ambientali, comunque già disponibili sul mer-

cato europeo per diverse categorie di prodotto. Chiarisce, quindi, quali sono i “dati obbligatori”, derivati dalla valutazione LCA, che l’EPD deve riportare, e secondo quali criteri e forme tali informazioni debbano essere fornite in modo che diverse EPD, relative a prodotti concorrenti, possano essere correttamente impiegate e comparate all’interno di una procedura di valutazione dell’impatto ambientale di una costruzione.

## La comparazione dei profili ambientali dei materiali da costruzione

Come definito nella prEN 15804, scopo di un’EPD, nel settore delle costruzioni, è quello di fornire le informazioni di base per la valutazione della performance di un edificio e l’identificazione della soluzione progettuale e costruttiva che comporta un minore impatto sull’ambiente. In quest’ottica, quindi, lo standard si pone l’obiettivo di garantire la confrontabilità tra prodotti da costruzione analoghi, ma esclusivamente all’interno del contesto della loro applicazione nell’edificio. In linea di principio, infatti, il confronto di prodotti<sup>(3)</sup>, condotto sulla base della loro EPD, è consentito esclusivamente in relazione al loro specifico contributo alla prestazione ambientale complessiva dell’edificio, valutato nell’intero ciclo di vita di quest’ultimo. Ciò nonostante, sul mercato europeo, in cui l’ambiente non è più considerato come un vincolo alla crescita, ma un elemento di valorizzazione della responsabilità sociale d’impresa, si è sviluppata la tendenza ad impiegare gli studi LCA non solo come strumento di informazione ed educazione del consumatore, volto a influenzare favorevolmente la percezione del brand attraverso messaggi ambientali quantificati, ma anche come fattore diretto di marketing.

## Profili ambientali dei prodotti in laterizio: gli elementi per copertura

Non sorprende, quindi, trovare prodotti da costruzione già provvisti di certificazione ambientale EPD, materiali e componenti (polveri di calcestruzzo e di cemento, elementi per muratura e copertura, pannelli isolanti, infissi e sistemi impiantistici) corredati di una etichetta, in linea con le norme ISO 14020 e ISO 14025<sup>(4)</sup>, ma niente affatto allineati tra loro per qualità e quantità di informazioni: è questo il caso degli elementi per copertura. A tale proposito, la bibliografia internazionale disponibile consente un’analisi tra almeno quattro EPD propriamente dette e due certificazioni ambientali di prodotto redatte in base a schemi di certificazione nazionale derivati dal recepimento delle ISO della serie 14020. L’analisi dei dati dichiarati nei certificati ambientali evidenzia chiaramente quella difficoltà interpretativa e di comunicazione, sottolineata precedentemente, rendendone difficile, ad oggi, anche l’impiego in una valutazione di sostenibilità di progetti a confronto.

La tabella 1 riporta i dati desumibili dalla lettura delle certificazioni ambientali relative ad elementi per coperture in laterizio e in cemento: sono più che evidenti le significative discrepanze tra le informazioni disponibili. La difficoltà nella corretta ed utile interpretazione dei valori sta appunto nella impossibilità, da parte dell’utente che abbia a disposizione il solo documento EPD, di comprendere il contributo che le diverse scelte di metodo e di impostazione di calcolo apportano al valore finale di ogni singolo indicatore messo a sua disposizione.

Come è possibile quantificare e confrontare la prestazione ambientale di prodotti simili (le tegole in laterizio, ad esempio) caratterizzati da scenari diversi di produzione (unità funzionale), trasporto e durata di vita utile? E anche nell’ipotetico raffronto con prodotti simili, caratterizzati da profili LCA completi ed elaborati secondo le medesime regole operative, per funzione e

PROFILO AMBIENTALE DI TEGOLE IN LATERIZIO (PANORAMA EUROPEO)											
sviluppatore	riferimento	nazione	riferimento normativo	unità funzionale	durata di vita (anni)	peso (kg/m <sup>2</sup> )	fasi del ciclo di vita considerata	scenari	energia primaria (MJ)	emissione CO <sub>2</sub> (kg)	
Declaration environnementale et sanitaire de tuile terre cuite	Fédération Française des Tuiles et Briques	produzione francese di tegole in laterizio	F	NF P 01-010	1 m <sup>2</sup>	100	46,20	produzione + trasporto + fine vita	trasporto medio 200 km	184,59	9,30
Dichiarazione ambientale di prodotto del coppo in "cotto"	produttore	prodotto singolo	IT	ISO 14025/TR, EPD:2008	1 t	230	56,23	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 480 km	5.421,40	513,20
Umwelt-produktdeklaration dachziegel	produttore	produzione aziendale	D	ISO 14025/TR	1 t	-	46,9	produzione +imballaggio	-	6.661,00	410,86
Valutazione ambientale di tegole in laterizio	ANDIL	produzione aziendale	IT	prN15804	1 t	100	43,5	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 100 km	3.393,61	188,39

PROFILO AMBIENTALE DI TEGOLE IN CEMENTO (PANORAMA EUROPEO)											
sviluppatore	riferimento	nazione	riferimento normativo	unità funzionale	durata di vita (anni)	peso (kg/m <sup>2</sup> )	fasi del ciclo di vita considerata	scenari	energia primaria (MJ)	emissione CO <sub>2</sub> (kg)	
Declaration environnementale et sanitaire de tuile beton	Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton	produzione francese di tegole in cemento	F	NF P 01-010	1 m <sup>2</sup>	100	42,00	produzione + trasporto + fine vita	trasporto medio 100 km	120,14	10,50
Dichiarazione ambientale di prodotto della tegola in calcestruzzo	produttore	prodotto singolo	IT	ISO 14025/TR, EPD:2008	1 t	80-100	50,00	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 100 km	8,21 kg di risorse con contenuto energetico	341,30
Umwelt-produktdeklaration dachsteine	produttore	produzione aziendale	D	ISO 14025/TR	1 t	-	43,68	produzione +imballaggio	-	1.892,00	217,00

**Tab 1. Profili a confronto di tegole in laterizio ed in cemento, derivati dalle "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD) fornite dal produttore o dall'Associazione di riferimento. Sono riportati dati elaborati dal TAeD all'interno della ricerca ANDIL sul "profilo ambientale" di elementi per copertura in laterizio.**

impiego, come operare, ignorando il diverso contributo che ogni singolo prodotto può apportare in termini positivi o negativi alla sostenibilità del progetto, senza la definizione di uno scenario di messa in opera, di uso, senza la definizione di cicli di manutenzione e sostituzione degli elementi danneggiati o ammalorati, senza la descrizione di scenari di demolizione, fine vita, riciclo/riuso, tutti inscindibilmente legati alla composizione esecutiva di un progetto d'architettura?

## La ricerca TAeD sulle tegole in laterizio

Quale membro esperto italiano del CEN/TC 350, il gruppo LCA del Dipartimento TAeD dell'Università degli Studi di Firenze sta conducendo da tempo, nell'ambito di ricerche svolte in convenzione con ANDIL, valutazioni LCA dei prodotti nazionali in laterizio al fine non solo di determinare il profilo di sostenibilità della produzione italiana, ma di contribuire anche, con i risultati del lavoro applicativo, all'aggiornamento normativo delle PCR europee per prodotti in laterizio che seguirà la pubblicazione dei lavori del CEN/TC 350.

Tali valutazioni sono state condotte sulla base di uno studio completo, "dalla culla alla tomba", realizzato elaborando le informazioni relative alla fase di produzione di 1 m<sup>2</sup> di manto in laterizio (unità funzionale) in scenari plausibili e rappresentativi della produzione media italiana, definiti per ognuna delle fasi successive alla fabbricazione (trasporto, costruzione, uso, manutenzione, fine vita, riciclo).

Tra la vasta gamma di prodotti in laterizio per manti di copertura, la ricerca è stata applicata alle tegole denominate "portoghesi", che rappresentano, insieme alle tipologie "marsigliesi", "olandesi" ed "embrici", il 78% (in peso) della produzione nazionale<sup>(5)</sup>.

acidificazione	eutrofizzazione	riscaldamento globale 100a	impoverimento dello strato di ozono 20a	ossidazione fotochimica	fossile, non rinnovabile
kg SO <sub>2</sub> eq.	kg PO <sub>4</sub> eq.	kg CO <sub>2</sub> eq.	kg CFC-11 eq.	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	MJ eq.
9,48E-01	8,24E-02	1,88E+02	1,02E-04	1,51E-01	3,39E+03

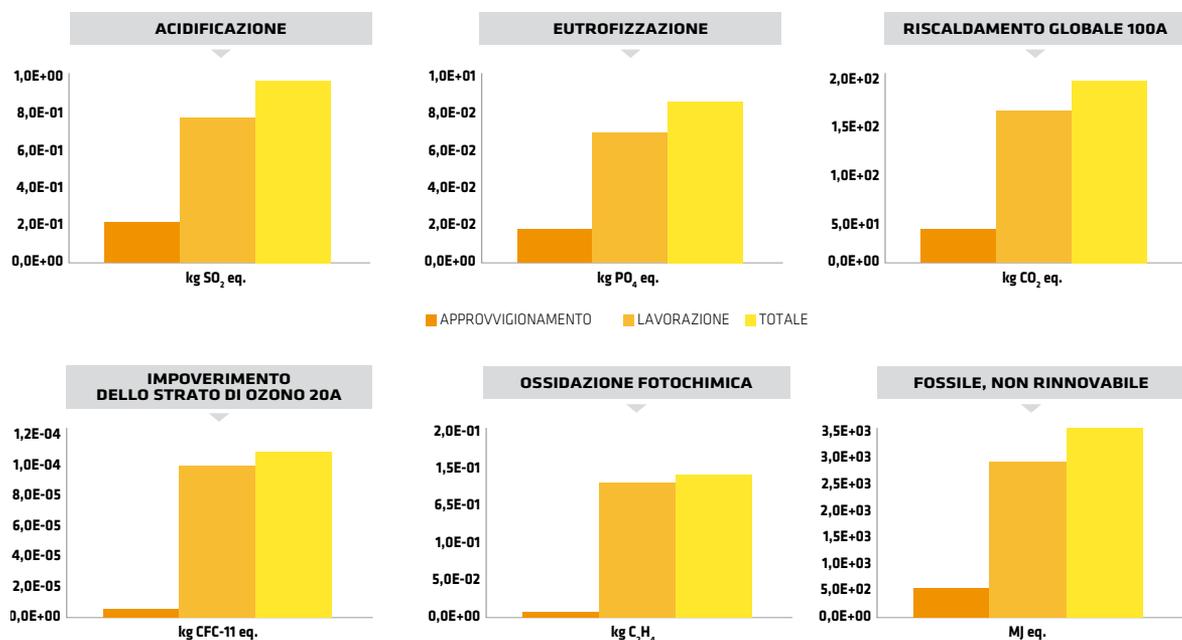
### Produzione

La ricerca ha affrontato un primo studio cradle to gate, relativo alla fase di produzione (estrazione, approvvigionamento, produzione, confezionamento), sulla base dell'unità dichiarata, ossia la tonnellata di materiale (1 t).

Questa prima analisi ha definito il profilo ambientale del prodotto (fig. 1, tab. 2)<sup>(6)</sup>, da cui è possibile risalire ad 1 m<sup>2</sup> di manto in laterizio, conoscendo il suo peso a m<sup>2</sup>. Successivamente, in riferimento all'unità funzionale, sono stati delineati gli scenari climatico, economico, geografico, di durabilità e riciclaggio per l'elaborazione delle informazioni tecniche aggiuntive relative alle fasi di trasporto, messa in opera, uso, durata e fine vita.

**Tab 2. Profilo ambientale cradle to gate di 1 t di tegole in laterizio.**

**Fig 1. Profilo ambientale di tegole in laterizio (1 t).**



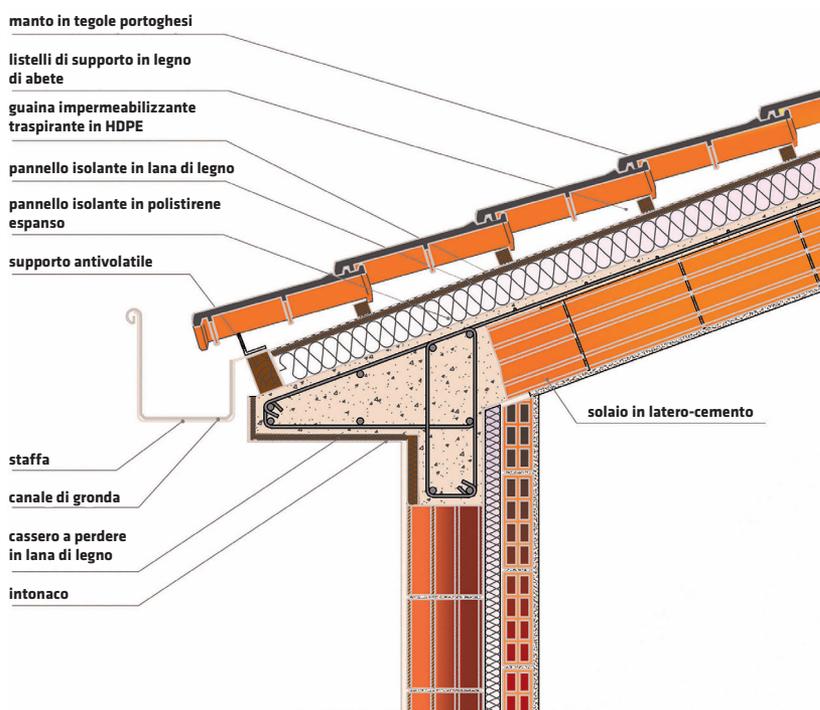
### Unità funzionale

L'unità funzionale, definita in questo studio ai fini della valutazione LCA, è rappresentata da 1 m<sup>2</sup> di copertura isolata, microventilata<sup>(7)</sup>, realizzata con manto discontinuo in laterizio, idonea per posa in opera su solaio inclinato in latero-cemento<sup>(8)</sup>. La stratigrafia della soluzione tecnica impiegata come scenario è riportata in fig. 2. Sono state considerate tre aree climatiche diverse, per cui gli spessori ed il tipo di isolante sono stati scelti al fine di soddisfare i requisiti energetici delle zone climatiche: B (Reggio Calabria), D (Firenze)

**Tab 3. Quantità di materiali presenti in un metro quadrato della soluzione tecnica scelta: copertura inclinata discontinua microventilata.**

Quantità di materiali per metro quadrato di copertura	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	zona climatica E		zona climatica D		zona climatica B	
		spessore (m)	peso su 1 m <sup>2</sup> di copertura (kg)	spessore (m)	peso su 1 m <sup>2</sup> di copertura (kg)	spessore (m)	peso su 1 m <sup>2</sup> di copertura (kg)
1 manto di copertura in tegole portoghesi	-	-	43,50	-	43,50	-	43,50
2 listelli in legno di abete di supporto per microventilazione sotto tegola	500	0,040	0,80	0,04	0,80	0,04	0,80
3 guaina impermeabilizzante traspirante in HDPE	0,13	0,004	0,11	0,004	0,11	0,004	0,11
4 isolante in lana di legno mineralizzata	533	0,015	8,00	0,02	10,66	0,02	21,32
5 isolante in polistirene espanso	32	0,090	2,84	0,08	2,52	0,05	1,58

**Fig 2.** La soluzione di copertura analizzata, microventilata, prevede l'applicazione del manto in tegole su listelli lignei e la presenza di due strati isolanti (uno leggero in polistirene espanso ed uno di maggiore densità in lana di legno mineralizzata).



ed E (Bolzano), definiti in base al D.Lsg. 311 del 2006, tenuto anche conto dell'obiettivo di limitare i consumi energetici in periodo estivo grazie al contributo della massa di prodotti ad alta densità (tab. 3).

## La fase d'uso: trasporto e manutenzione

La definizione dei possibili scenari geografici ha consentito di elaborare utili informazioni circa gli impatti relativi alla distribuzione del prodotto, a partire dall'uscita dai cancelli della fornace. Per quanto riguarda la valutazione ambientale della fase di trasporto dei prodotti impiegati nella soluzione scelta, è stato delineato uno scenario con trasporto su gomma, con un raggio medio di distribuzione di 100 km. A conferma della buona pratica ambientale di impiegare materiali reperibili localmente, la comparazione dei dati elaborati per ognuno dei tre scenari climatici presi in considerazione dimostra come gli impatti relativi alla fase di trasporto risultino debolmente incisivi sul bilancio ambientale complessivo in caso di raggi di azione medi (per distanze tra i 200 e i 300 km, l'incidenza della fase di trasporto sul bilancio globale è circa del 2-3%), ma possono invece crescere sensibilmente in caso di distanze più consistenti. La fase d'uso, come noto, comprende anche le fasi di costruzione e manutenzione della soluzione in esame. Ai fini dell'impiego dell'EPD del prodotto, all'interno di una valutazione del profilo LCA di edificio, occorre quindi fornire indicazioni circa le prestazioni dell'elemento tecnico, correlate alla durata di vita prevista dal progetto (*design life*), ipotizzata pari a 100 anni. Tali indicazioni non si limitano alle sole prestazioni termiche, igrometriche, acustiche, di protezione al fuoco e di sicurezza, ecc., ma includono anche informazioni circa la durata di vita utile (*service life*) dell'elemento, espressione dei cicli di manutenzione necessari a garantire il mantenimento delle prestazioni suddette per l'intera *design life* dell'edificio.

Attraverso l'impiego del software Laterlife<sup>(9)</sup>, sono stati calcolati i profili prestazionali termoigrometrici e gli impatti ambientali relativi alla fase di produzione ed uso dei materiali costituenti il "pacchetto" di copertura selezionato, relativamente ad ognuno dei tre scenari climatici considerati. Se da un lato la legislazione nazionale fornisce indicazioni quantitative in merito ai requisiti minimi di strutture ed edifici in materia di risparmio energetico, consenten-

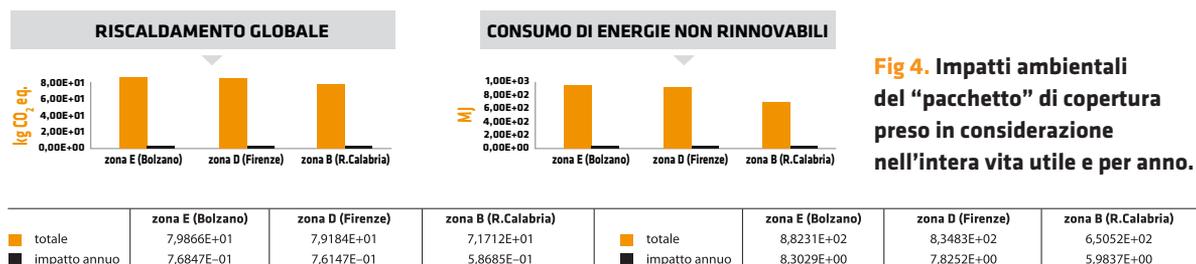
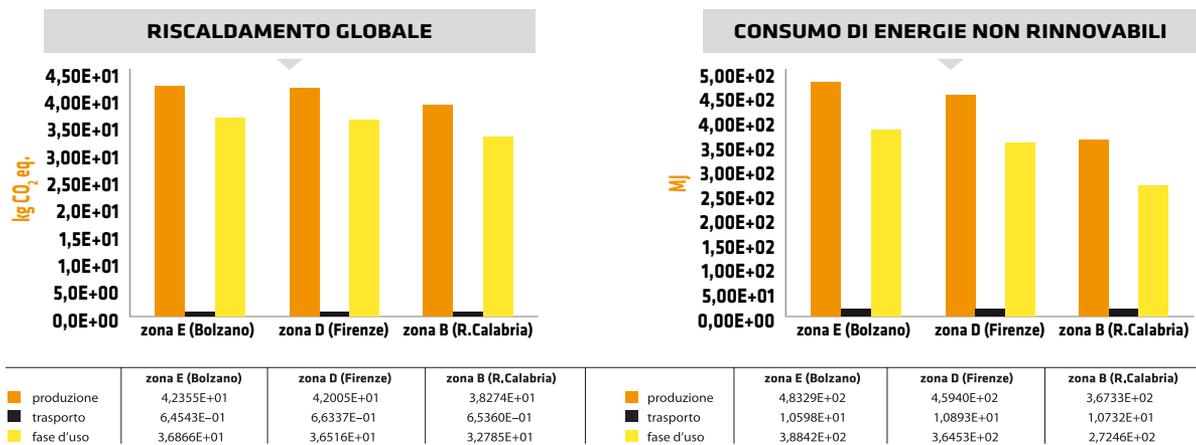
do un calcolo puntuale dei parametri di controllo della prestazione, ad oggi non esistono documenti completi, elaborati a livello nazionale (e sono ancora scarsi i dati a livello europeo), sulla *service life* di prodotti e di elementi tecnici. Nel caso in questione, il profilo LCA dell'unità funzionale, in fase d'uso, è stato definito sulla base della metodologia indicata nella Guidance paper F (*concerning the Construction Products Directive, 89/106EEC*) - *Durability and the construction products directive*<sup>(10)</sup>.

Tale metodologia, definita come la *working life* di una soluzione tecnica, ovvero il periodo di tempo durante il quale la prestazione di un prodotto deve essere mantenuta ad un livello che metta in grado un componente (correttamente progettato ed eseguito) di soddisfare i "requisiti essenziali", indica la durata di vita minima del prodotto stesso, in funzione delle caratteristiche di riparabilità dei sistemi in cui esso viene inserito ("facile", "con alcuni sforzi" o "difficoltoso"). Sulla base delle indicazioni della citata Guidance paper, quindi, i materiali che costituiscono la soluzione di copertura oggetto di studio, essendo sostituibili con semplici operazioni, devono garantire una durata di vita superiore ai 25 anni. I dati sulle durate di vita dei singoli materiali, presenti nel database del software Laterlife, sono stati elaborati a partire da dichiarazioni ambientali di prodotti europei disponibili, in particolare, nella banca dati francese INIES<sup>(11)</sup>, da documentazioni tecniche quali la Guideline for sustainable building pubblicata dal Bundesministerium für Verker, Bau- und Wohnungswesen (D), nonché dalla letteratura scientifica.

Secondo queste informazioni, il software Laterlife è in grado di elaborare lo scenario di manutenzione associato alla soluzione tecnica definita, individuando, per ogni materiale, il numero di sostituzioni nella *design life* necessarie a garantire la prestazione complessiva della soluzione stessa.

I grafici di fig. 3 evidenziano la rilevanza della fase d'uso nella definizione di un profilo LCA "cradle to grave" (dalla "culla alla tomba"): gli impatti associati all'uso della soluzione tecnica nell'edificio, infatti, derivano dalla necessità tecnica di sostituire almeno 1 volta, nei 100 anni della *design life*, tutti gli strati del pacchetto, ad esclusione del manto di copertura in laterizio, per il quale si prevede la sostituzione solo del 30% degli elementi posati in opera.

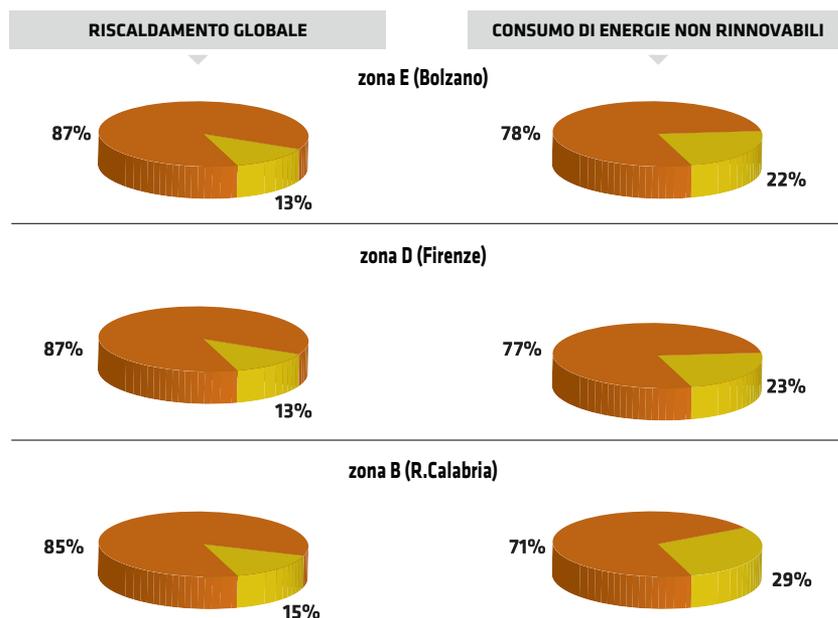
**Fig 3. Profilo ambientale del "pacchetto" di copertura preso in considerazione nelle fasi di produzione, trasporto e uso.**



**Fig 4. Impatti ambientali del "pacchetto" di copertura preso in considerazione nell'intera vita utile e per anno.**

Nei grafici di fig. 4 sono riportati i valori totali (fase di produzione, trasporto ed uso) degli impatti per i due più importanti indicatori (riscaldamento globale e consumo di energie non rinnovabili) per le tre zone climatiche, confrontati con l'impatto annuo che tiene conto della durata di vita della soluzione tecnica prevista (100 anni).

Nei grafici di fig. 5, per gli stessi indicatori e le stesse fasi, è evidenziata l'incidenza percentuale del manto in laterizio rispetto agli altri strati di copertura.



**Fig 5.** Impatti ambientali percentuali del manto di copertura e degli altri materiali costituenti la stratigrafia a confronto nelle tre zone climatiche considerate.

### Il fine-vita

In una valutazione globale di compatibilità ambientale di prodotti ed edifici, l'analisi non può prescindere da una verifica degli impatti relativi alle fasi di trattamento dei rifiuti e dei sottoprodotti del processo di demolizione. Per gli elementi di copertura in laterizio, il riutilizzo di elementi integri, reimpiegati per la realizzazione di nuovi manti, costituisce un indubbio valore aggiunto quantificabile in termini economici ed ambientali. Analoghe considerazioni valgono per tutti i materiali caratterizzati da una durata di vita lunga, nel corso della quale mantengono pressoché inalterate le proprie prestazioni, purché siano messi in opera attraverso tecnologie che non ne compromettano le caratteristiche e ne rendano possibile lo smontaggio e il successivo reimpiego. Tuttavia, a fronte di una crescente espansione della filiera di trattamento e riuso dei rifiuti inerti di demolizione, la valutazione del loro contributo ambientale, associato a cicli di vita successivi, rimane a tutt'oggi di difficile elaborazione, a causa della scarsità di informazioni sulla reale fattibilità e sulle tecniche di riciclaggio disponibili, nonché sulle possibili conseguenze ambientali derivate dall'impiego di scarti come materie prime secondarie, da valutare mediante analisi di laboratorio specifiche (ad esempio, attraverso il "test di cessione" previsto dall'articolo 9 del DM 5/02/98 e s.m.i.). In merito, uno studio condotto dal laboratorio Ri.cert<sup>(12)</sup> sul comportamento in fase di dismissione di tegole in cemento e in laterizio ha evidenziato delle criticità per le tegole in cemento proprio rispetto al "test di cessione", evidenziando il superamento di una soglia di allarme circa i parametri limite previsti dalla norma per quanto riguarda gli anioni "solfati" e "cloruri". Secondo gli autori, lo studio, pur non essendo rappresentativo – per il numero ridotto di campioni – di un'analisi comparativa estendibile all'intera categoria di prodotti, costituisce comunque un utile spunto di riflessione per avviare una analisi sistematica sulle problematiche connesse al fine ciclo di vita di tali materia-

li. Ciò considerato, ai fini della valutazione del profilo ambientale, lo standard stesso indica come opzionali ed escluse dall'analisi *full life cycle* tutte le considerazioni relative alla fase di riciclaggio e riuso, proprio per la difficoltà scientifica ed operativa di individuare specifici modelli di calcolo e di definire scenari concreti e tecnicamente realizzabili, limitando la comunicazione ad informazioni sulla quantità di prodotto potenzialmente destinabile a raccolta differenziata, a riciclo per la produzione di materie seconde o di energia, a riuso o a smaltimento.

## Conclusioni

Stante l'impossibilità di elaborare un giudizio comparativo sui profili ambientali di elementi simili, in mancanza di un modello univoco e condiviso di calcolo e restituzione dei dati, "i risultati della ricerca costituiscono in ogni caso un aggiornamento migliorativo, oltre che più aderente alla realtà produttiva, dei valori relativi agli impatti ambientali delle tegole italiane in laterizio". In seconda battuta, i dati della valutazione del profilo ambientale della copertura esaminata consentono di apprezzare la rilevanza di una lettura *full life cycle* rispetto alle valutazioni su singole fasi. Diversamente da quanto ipotizzabile, infatti, la soluzione ambientalmente più sostenibile risulta essere quella più pesante (358,23 kg/m<sup>2</sup> è la massa superficiale del "pacchetto" di copertura realizzato per lo scenario di Reggio Calabria, contro i 346,23 kg/m<sup>2</sup> della soluzione relativa a Bolzano). Lo studio, in definitiva, evidenzia come, nell'ambito di una valutazione LCA a scala di edificio, il profilo ambientale globale sia sicuramente condizionato da diversi fattori, quali la natura dei materiali che compongono gli strati complementari, la durata di vita dei componenti, la loro riciclabilità, gli scenari tecnologici e climatici, in totale sintonia con la linea di sviluppo degli edifici sostenibili, secondo il "settimo" requisito base.

### Note

1. Il Regolamento Europeo, a differenza della Direttiva, sarà immediatamente attivo senza necessità di recepimento da parte degli Stati Membri.
2. La Commissione Europea ha affidato ad una commissione tecnica internazionale il mandato TC350 Sustainability of Construction Works<sup>4</sup>, per la definizione degli standard volontari per l'elaborazione di "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD) e dei metodi per l'aggregazione di queste informazioni all'interno di una valutazione della sostenibilità complessiva di edifici nuovi ed esistenti.
3. prEN 15804: punto 5.3. Comparability of EPD of construction products.
4. ISO 14020 (2000), Environmental labels and declarations - Principles and guidelines; ISO/TR 14025 (2000), Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations.
5. Dato fornito da ANDIL, Associazione Nazionale Degli Industriali dei Laterizi.
6. Le valutazioni LCA relative alla fase di produzione e trasporto sono state effettuate impiegando il software Simapro.
7. Come definita dalla UNI 9460 del 2008.
8. Lo studio è stato condotto sul "pacchetto" di copertura composto da manto, sottomanto aerato, guaina impermeabilizzante, strato isolante, escludendo dai calcoli ambientali gli impatti relativi al solaio in latero-cemento.
9. Torricelli, M.C., Gargari, C., Palumbo, E., Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali, *Costruire in Laterizio* n. 136, pp. 48-53.
10. European Commission Enterprise and Industry Directorate-general, Guidance paper F (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC) - Durability and the construction products directive, dicembre 2004.
11. Elaborata dal centro di ricerca CSTB, contiene più di 300 dichiarazioni ambientali e sanitarie di prodotti da costruzione.
12. A. Camporese, La gestione dei rifiuti in edilizia: i materiali da costruzione, *L'industria dei Laterizi*, n. 122 marzo-aprile 2010, pp. 92-94.

## 2|6 LATERLIFE: SOFTWARE PER LA VALUTAZIONE AMBIENTALE DI SOLUZIONI TECNICHE IN LATERIZIO

ANDIL, in stretta collaborazione con il Dipartimento TAED dell'Università di Firenze, ha lanciato sul mercato LATERLIFE, il primo software on-line, completamente gratuito, per la valutazione delle caratteristiche prestazionali ambientali di sistemi costruttivi in laterizio, secondo la metodologia LCA (Life Cycle Assessment).

In risposta alla pressante richiesta di indicatori del profilo ambientale dei materiali da costruzione ed in linea con il 7° requisito base presente nel prossimo "Regolamento europeo per i prodotti da costruzione", ANDIL, l'Associazione nazionale degli industriali dei laterizi, ha commissionato al gruppo di ricerca LCA del Dip.to TAED dell'Università degli Studi di Firenze, coordinato dalla prof.ssa MC. Torricelli, una indagine sul profilo del ciclo di vita dei prodotti italiani in laterizio.

La ricerca è stata principalmente orientata a costruire specifici inventari LCI, utili all'elaborazione di etichette ambientali di tipo III, ovvero EPD (Environmental Products Declaration) di settore, in conformità alle procedure e alle prescrizioni degli standard ISO in corso di definizione all'interno del gruppo di lavoro TC 350 Sustainability of construction works.

In un mercato nazionale in cui, attualmente, i sistemi di valutazione e certificazione della sostenibilità degli edifici, quali i protocolli LEED Italia NC 2009 ed ITACA, si stanno affermando e diffondendo tra committenti e progettisti quali strumenti in grado di conferire valore aggiunto al progetto, andando oltre la essenziale certificazione energetica, ANDIL ha gettato le basi di un progetto più ampio, rispetto alla semplice informazione sul prodotto, volto a fornire, a chiunque voglia promuovere la "sostenibilità" in edilizia, uno strumento univoco per la verifica ed il calcolo dei parametri fondamentali per una valutazione globale delle prestazioni energetiche, acustiche ed ambientali delle soluzioni tecniche adottate.

Tutto ciò attraverso una piattaforma gratuita web-based che contribuirà alla promozione di una maggiore coscienza sostenibile nel processo decisionale della progettazione degli edifici.

Partendo dalla constatazione che i dati ambientali (energia incorporata nei materiali da costruzione, emissione globale di CO<sub>2</sub> nella produzione degli stessi, ecc.) utili alla valutazione del progetto in relazione agli indicatori di sostenibilità che i diversi protocolli prevedono, non sono oggi, di fatto, largamente diffusi, né facilmente accessibili ai non esperti di LCA, il software LATERLIFE si propone di soddisfare questa esigenza, fornendo, attraverso un'interfaccia utente user-friendly ed intuitiva, un profilo ambientale completo dei sistemi costruttivi in laterizio, quali pareti perimetrali e divisorie, coperture e solai intermedi.

Il programma di calcolo, infatti, consente la valutazione di tutti quei parametri relativi alla soluzione tecnica selezionata che definiscono e caratterizzano le relative performance dal punto di vista termico, igrometrico, acustico ed ecologico. Nello specifico, il software è in grado di effettuare la determinazione di:

- massa superficiale Ms
- resistenza termica R

- trasmittanza termica U
- trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$
- sfasamento s
- fattore di attenuazione fa

svolgendo, inoltre, la verifica di Glaser, concernente il rischio di formazione di condensa interstiziale, e calcolando il potere fono isolante  $R_w$ , nonché l'impatto ambientale espresso attraverso i 6 indicatori principali di:

- acidificazione
- eutrofizzazione
- riscaldamento globale
- riduzione dello strato di ozono
- ossidazione fotochimica
- uso di risorse energetiche

valutati sulla base di una design life di 100 anni.

LATERLIFE, quindi, è in grado di qualificare, con una unica operazione di calcolo, la soluzione tecnica che il progettista definisce attraverso una stratificazione di elementi tecnici in spessori variabili, in riferimento ad uno specifico contesto climatico, restituendo i valori corrispondenti alle prescrizioni normative in materia di risparmio energetico, qualità dell'aria, inquinamento acustico, oltre ai parametri descrittivi della qualità ambientale del componente secondo l'approccio LCA.

In questo modo, l'utente è messo nelle condizioni di poter valutare e confrontare i profili ambientali di diverse soluzioni possibili, a parità di requisiti (trasmittanza termica, spessore, destinazione d'uso, contesto climatico, ecc.), per orientare il progetto verso strategie a basso impatto, nell'ottica di una edilizia sostenibile.

Il progettista, in fase di pre-progetto esecutivo, può utilizzare questo strumento per orientare le scelte progettuali; il committente, in fase di programmazione di un intervento, può associare alle soluzioni tecniche rispondenti alle norme i costi e le prescrizioni di capitolato; l'impresa può utilizzare il software per formulare le proposte in procedure di aggiudicazione basate sull'offerta "più vantaggiosa".



**Il software è utilizzabile direttamente all'indirizzo:**  
<http://www.andil.eu/laterlife.html>, info: [andil@laterizio.it](mailto:andil@laterizio.it)

## 2|7 VALUTAZIONE DI SOLUZIONI TECNICHE AD ALTE PRESTAZIONI AMBIENTALI

di M. Chiara Torricelli, Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo

Il progetto edilizio si trova oggi ad affrontare problematiche che impongono una visione integrata di più aspetti prestazionali e un approccio proiettato oltre le condizioni specifiche del contesto, siano esse legate al sito in cui l'opera verrà realizzata o all'impiego che ne verrà fatto. Questa complessità investe l'insieme delle attività tecnologiche e delle trasformazioni che ne derivano, ma nel settore delle costruzioni ha assunto una rilevanza a tutti ormai nota nelle sue motivazioni: impatto sull'uso delle risorse energetiche e materiali, importanza della qualità dell'ambiente costruito per garantire la qualità della vita, incidenza economica sul PIL e sul totale della forza lavoro, globalizzazione dei mercati, ecc. Le normative tecniche per l'edilizia, cogenti e non, hanno messo in evidenza questa complessità, fornendo utili strumenti di supporto al progetto, ma al contempo generando un quadro di riferimento spesso poco efficace e non facile da applicare, proprio per la numerosità delle norme stesse e la loro continua evoluzione. "Better Regulation: simplification strategy" è un'impostazione che la Commissione Europea stessa ha lanciato nel 2005<sup>(1)</sup> e che sta portando ad una ormai prossima revisione della Direttiva Prodotti da Costruzione (89/106/EEC) che diventerà Regolamento (CPR)<sup>(2)</sup>.

In questo quadro, gli aspetti legati alle problematiche del risparmio energetico, dell'ambiente, della sostenibilità in genere sono diventati centrali per il progetto degli edifici e per il mercato dei prodotti.

Tra questi, particolare attenzione viene posta nei confronti di ambiti specifici, quali:

- l'efficienza energetica degli edifici;
- la protezione contro il rumore;
- la riduzione delle emissioni dannose e, in primis, dei "gas a effetto serra" (CO<sub>2</sub><sup>equivalenti</sup>) imputabili alle costruzioni e al loro utilizzo e dismissione;
- l'uso sostenibile delle risorse energetiche naturali.

Il tema dell'efficienza energetica degli edifici in ambito europeo è normato in rapporto al "consumo di energia durante l'utilizzazione dell'opera" senza pregiudicare il "benessere termico degli occupanti". Da tale criterio ha avuto origine la Direttiva sulle "prestazioni energetiche degli edifici, sulla certificazione energetica e sul controllo degli impianti", alla quale l'Italia si è adeguata con le disposizioni contenute nei D.lgs. 192/2005, D.lgs. 311/2006 e i nei successivi DPR attuativi<sup>(3)</sup>. La Direttiva europea sulle prestazioni energetiche degli edifici (EPBD) è attualmente in fase di revisione e la nuova versione, che dovrebbe essere rilasciata nel 2010<sup>(4)</sup>, oltre ad estendere le disposizioni ad un più ampio ambito del recupero, introduce i concetti di "livello ottimale di costo nel ciclo di vita" delle soluzioni impiantistiche e tecniche<sup>(5)</sup>, per il rispetto delle prestazioni energetiche, e di edifici a "zero energia e zero CO<sub>2</sub>".

La protezione contro il rumore in ambiente abitativo è un requisito "passivo" degli edifici i cui livelli prestazionali di riferimento vanno ricondotti nel quadro più ampio delle disposizioni in materia di inquinamento acustico e rumore ambientale<sup>(6)</sup>. In relazione alle recenti normative su questo argomento, il Governo dovrà riformare le norme in materia, di cui al DPCM 5 dicembre 1997: la situazione è quindi al momento sospesa in un quadro normativo in evoluzione. Per quanto riguarda la riduzione dei gas a effetto serra e, più

**LATERIZIO.IT**  
 ASSOCIAZIONE NAZIONALE EDILI PENNANTI (LATERIZIO)  
 ASSOCIAZIONE NAZIONALE EDILI PENNANTI (LATERIZIO)

Elemento tecnico: **Chiusura verticale**      Città: **Roma**

Limiti normativi      Zona:      D:      Massa sup: >230 Kg/m<sup>2</sup>

U regime statico      W/(m<sup>2</sup> K)      Pareti:      0.36      Coperture:      0.32      Pavimenti:      0.36      Divisori:      0.8

U regime dinamico      W/(m<sup>2</sup> K)      Pareti:      0.12      Coperture:      0.20

Descrizione della soluzione

Usa questi bottoni per aggiungere o rimuovere degli strati

strato	descrizione	spessore cm	densità kg/m <sup>3</sup>	cond. term. W/(m K)	calore spec. J/(kg K)	res. vap. (mu)
MUR	muratura a 1 test...	12	1550	0.43	1000	10
MAL	malta cementizia ...	1	1650	1.4	837	25
ISO	pannello in xps pr...	5	28	0.033	1450	125
MUR	mur. armata alve...	30	1006	0.247	1000	10
INT	intonaco a calce ...	1.5	1450	0.3	900	8

Risultati

Massa superficiale: **527.44905 kg/m<sup>2</sup>**      Massa senza intonaco: **505.69998 kg/m<sup>2</sup>**

Resistenza termica: **3.235939 KW**      Sfasamento: **-21.6140 h**

Trasmittanza U: **0.3090293 W/(m<sup>2</sup> K)**      Fattore di attenuazione: **0.0211**

Spessore complessivo: **49.5 cm**      Trasmittanza termica periodica: **0.0065 W/(m<sup>2</sup> K)**

Azioni

Calcola      Verifica Acustica: Pareti multistrato C...      Report Avanzato

**Fig 1. L'homepage del software Laterlife.**

in generale, dell'impatto dannoso sull'ambiente e sulla salute dovuto alle costruzioni, al di là di quanto viene prescritto nelle norme relative alle prestazioni energetiche nelle fasi di uso degli edifici, la problematica viene ancora affrontata in ambito di norme non cogenti e di sistemi di certificazione, richiamati ormai sempre più spesso in capitolati e specifiche per gli appalti di opere pubbliche e nei criteri per le incentivazioni. In relazione a ciò, la Commissione Europea ha dato mandato all'Ente di Normazione Europea (CEN) nel 2004 di "individuare un metodo per la diffusione volontaria di informazioni ambientali a supporto della costruzione di opere sostenibili, tanto per i nuovi interventi che per il costruito esistente"<sup>(7)</sup>. Su questo obiettivo sta lavorando il CEN TC 350 ed entro il 2011 saranno emanate le norme definitive per armonizzare le "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD) che, in diversi contesti nazionali, costituiscono già un efficace strumento di certificazione, e i metodi di valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Tali norme fanno riferimento alla valutazione nel ciclo di vita, *life cycle* (LCA), della sostenibilità ambientale e permettono di qualificare le prestazioni ambientali con riferimento ad indicatori di impatto, riconosciuti come significativi e scientificamente fondati. L'impatto ambientale delle costruzioni, valutato nell'intero ciclo di vita (dalla produzione alla dismissione) è oggetto anche del 7° requisito essenziale introdotto dal nuovo Regolamento europeo sui prodotti da costruzione (CPR), precedentemente citato, concernente appunto l'uso sostenibile delle risorse naturali in edilizia, declinato in termini di: a) riciclabilità delle opere e dei materiali, b) durabilità delle opere, c) uso di materie prime e secondarie, ambientalmente compatibili. Quanto detto evidenzia come l'attuale sistema di regolamenti e norme, pur importante per la sostenibilità del costruito, vada ad incrementare una struttura normativa che già si presenta in molte parti pleorica e incongruente e che, dai livelli sovranazionali a quelli locali, crea barriere e frammentazioni che certo non favoriscono la sostenibilità delle costruzioni e non promuovono la ricerca di soluzioni efficaci. L'introduzione dell'approccio *life cycle* applicato alle prestazioni ambientali è senza dubbio uno strumento valido, ma progettisti, committenti, consumatori devono poterlo utilizzare in modo semplice,

senza che per questo esso perda la sua validità scientifica. È questa la sfida raccolta da ANDIL, l'Associazione italiana dei produttori di laterizi: informare adeguatamente e allo stesso tempo semplificare, perché chi deve decidere di promuovere la sostenibilità delle costruzioni (committenti, progettisti, imprese, enti locali, ecc.) abbia a disposizione dati utili ed efficaci per operare. Le ricerche, condotte dal 2005 per conto di ANDIL dal Dipartimento Tecnologie dell'Architettura e Design (TAeD) "Pierluigi Spadolini" dell'Università di Firenze, hanno permesso di mettere a punto uno strumento informatizzato tra breve disponibile on line per la qualificazione energetica-acustica-ambientale di soluzioni tecniche in laterizio.

Lo strumento, che si avvale di una banca dati riferita a prodotti italiani, permette di definire differenti tipologie di pareti, solai, coperture e di quantificarne i livelli prestazionali forniti, confrontandoli con le disposizioni normative vigenti. Esso è concepito per poter essere aggiornato con i dati che scaturiscono dal suo stesso impiego e a seguito di variazioni intervenute in sede normativa. Il progettista, in fase di pre-progetto esecutivo, può utilizzare questo strumento per orientare le scelte progettuali; il committente, in fase di programmazione di un intervento, può associare alle soluzioni tecniche rispondenti alle norme i costi e le prescrizioni di capitolato; l'impresa può utilizzare lo strumento per formulare le proposte in procedure di aggiudicazione basate sull'offerta "più vantaggiosa".

## Il software Laterlife

Disponibile gratuitamente per gli utenti del sito [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it), si propone quale strumento in grado di valutare il profilo ambientale di soluzioni tecniche in laterizio, intendendo come tale la valutazione di tutti quei parametri, relativi alla soluzione tecnica stessa, che ne definiscono e caratterizzano le performance dal punto di vista termico, igrometrico, acustico ed ecologico. Il profilo ambientale, definito attraverso l'uso dello strumento, consente quindi all'utente di confrontare contemporaneamente le prestazioni di una o più soluzioni, in risposta non soltanto ad istanze di tipo normativo (DPR n. 59/2009; DM 26/06/2009; Legge n. 447/1995, dopo la sospensione del DPCM 5/12/1997), ma anche ad esigenze più ampie di scelta e verifica della compatibilità ambientale dei prodotti e delle soluzioni adottate nel progetto in un'ottica di ciclo di vita. Laterlife, quindi, è in grado di qualificare, con una unica operazione di calcolo, la soluzione tecnica che l'utente definisce componendo strati di elementi tecnici in spessori variabili, restituendo i valori corrispondenti alle prescrizioni normative in materia di risparmio energetico, qualità dell'aria, inquinamento acustico, oltre ai parametri descrittivi della qualità ambientale del componente secondo l'approccio LCA.

**Tab 1. Le verifiche effettuate dal software Laterlife**

verifica	norma	indice	unità di misura
Termica	DPR 59/2009	Massa superficiale $M_s$	[kg/m <sup>2</sup> ]
	DPR 59/2009	Trasmittanza termica U	[W/m <sup>2</sup> K]
	DPR 59/2009	Trasmittanza termica periodica $Y_F$	[W/m <sup>2</sup> K]
	DM 26/06/2009	Sfasamento s	[h]
	DM 26/06/2009	Fattore di attenuazione $f_a$	[-]
Igrometrica	DPR 59/2009	Tabella delle pressioni di saturazione	[Pa]
		Tabella della quantità di condensa accumulata per strato/mese	[kg]
Acustica	DPCM 5/12/1997	Potere fonoisolante $R_w$	[dB]
Ambientale	TC 350 prEN15804	Acidificazione	[kg SO <sub>2</sub> eq]
		Eutrofizzazione	[kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq]
		Riscaldamento globale (GWP100)	[kg CO <sub>2</sub> eq]
		Riduzione dello strato di ozono (ODP)	[kg CFC-11 eq]
		Ossidazione fotochimica	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]
		Uso di risorse energetiche in produzione	[MJ eq]

Il tool, sulla base della procedura di calcolo descritta più avanti, può effettuare, per le soluzioni tecniche individuate dall'utente, le verifiche delle caratteristiche e delle prestazioni riportate in tabella 1. Mentre per le verifiche di tipo igrometrico ed acustico il riferimento per i modelli di calcolo è stato dedotto dalle normative nazionali vigenti e dalle specifiche norme tecniche UNI, non essendo ad oggi disponibile una banca dati LCA dei materiali da costruzione, il gruppo di ricerca del TAeD ha condotto una indagine specifica sul mercato italiano al fine di costruire, in armonia con le indicazioni del prossimo standard per l'elaborazione di "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD), in fase di redazione presso il WG3 del CEN/TC 350, un database omogeneo di dati ambientali attraverso l'impiego del software Simapro e a partire dalle banche dati internazionali disponibili. I record presenti nella banca dati sono stati analizzati e modificati (in termini di scenari e processi) in relazione alle informazioni specifiche relative alle modalità di produzione dei materiali selezionati, raccolte direttamente presso aziende. In riferimento ai prodotti in laterizio, in particolare, sono stati impiegati i profili ambientali specificamente elaborati dal gruppo di ricerca, su incarico di ANDIL, a partire dai dati sensibili forniti dagli stessi produttori<sup>(8)</sup>. L'architettura del software è strutturata su apposito database, che l'utente può consultare al fine di comporre le diverse soluzioni tecniche specifiche, articolato in quattro distinte sezioni: dati geografici, dati climatici, normativa e materiali. Attraverso la combinazione dei diversi elementi, l'utente è in grado di simulare e verificare il comportamento ambientale dei principali elementi di involucro selezionati.

**Tab 2. Stratigrafia verificata della soluzione tecnica 1.**

codice	spessore [cm]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conducibilità termica [W/mK]	calore specifico [J/kgK]	resistenza al passaggio del vapore [m]	durata di vita [anni]
MUR muratura a 1 testa in laterizio pieno faccia a vista	12,00	1550	0,430	1000	10,00	90
MAL rinzaffo con malta di calce e cemento	1,00	1650	1,400	837	25,00	35
ISO strato termoisolante con pannelli in XPS	5,00	28	0,033	1450	125,00	50
MUR muratura in laterizio alleggerito in pasta murato a malta tradizionale	30,00	1006	0,247	1000	10,00	90
INT intonaco a calce e gesso	1,50	1450	0,300	900	8,00	35

Massa superficiale	527,45 [kg/m <sup>2</sup> ]
Massa superficiale senza intonaco	505,70 [kg/m <sup>2</sup> ]
Spessore totale	49,50 [cm]
Resistenza termica	3,236 [m <sup>2</sup> K/W]
Trasmittanza termica	0,309 [W/m <sup>2</sup> K]
Trasmittanza termica periodica	0,007 [W/m <sup>2</sup> K]
Sfasamento	21,61 [h]
Fattore di attenuazione	0,0211 [-]
Potere fonoisolante	56,443 [dB]

**Tab 3. Profilo prestazionale della soluzione tecnica 1.**

## Il database

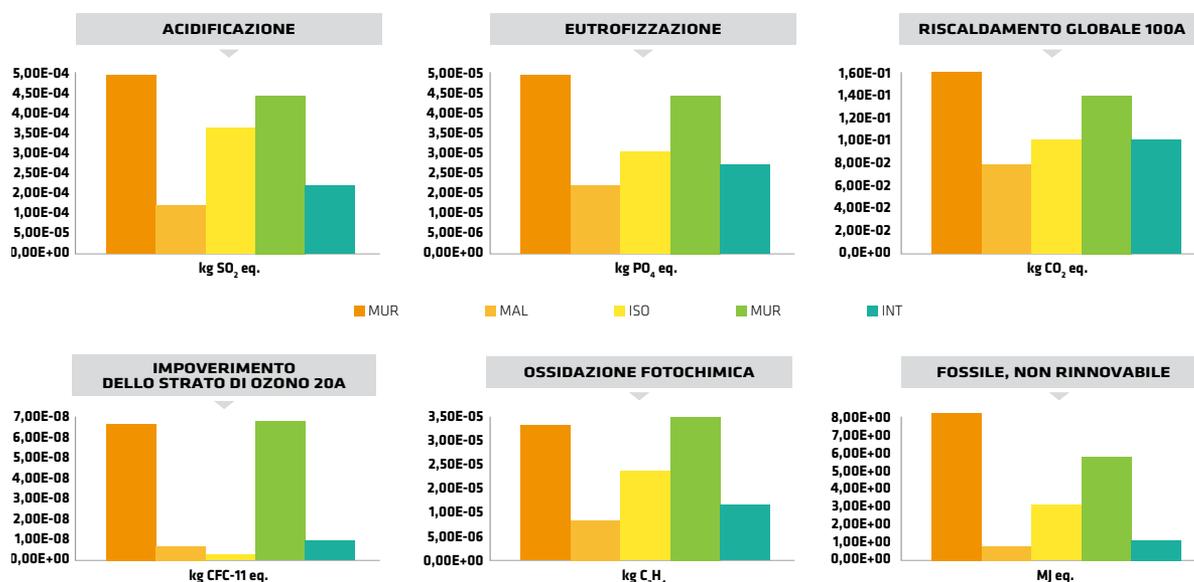
Ai fini del calcolo delle prestazioni ambientali della specifica soluzione tecnica, poiché il prodotto in laterizio generalmente concorre alla prestazione dell'elemento tecnico componendosi con altri i materiali per realizzare una stratificazione più o meno complessa (muratura e solaio), i dati relativi a tali soluzioni sono stati aggregati con quelli dei materiali complementari (ad esempio, malta, getto in cls, armatura). I dati primari relativi alle caratteristiche geometriche ed igrotermiche dei prodotti in laterizio (dimensioni, spessore, densità, conducibilità termica equivalente, calore specifico, resistenza alla diffusione del vapore, peso del laterizio, peso della malta) sono stati ricavati direttamente dalla documentazione tecnica delle aziende. Per quanto riguarda la caratterizzazione del profilo ambientale dei prodotti in

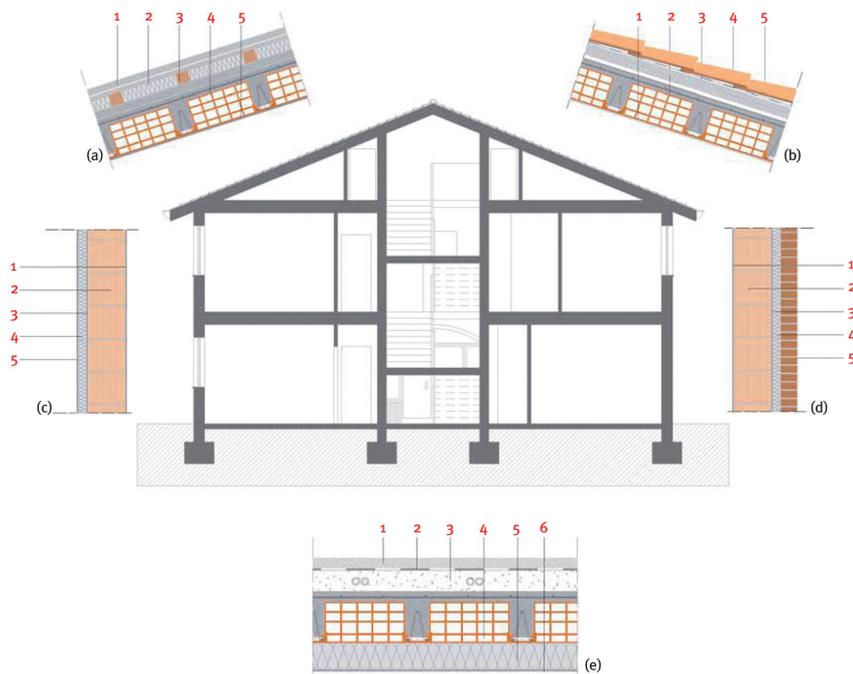
laterizio, è stata eseguita una valutazione degli impatti nel ciclo di vita di blocchi, normali e alleggeriti, per muratura, blocchi per solaio, mattoni per faccia a vista, elementi per coperture, a partire dai dati specifici laterizio forniti dall'Associazione di categoria. Analogamente, sono stati selezionati dal mercato materiali complementari correntemente impiegati nella realizzazione di soluzioni costruttive in laterizio, privilegiando prodotti con prestazioni standard, che presentino però qualità ambientali dichiarate.

## Il foglio di calcolo on-line delle prestazioni ambientali

L'interfaccia web di Laterlife, accessibile dal portale dell'ANDIL ([www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)), agevola l'utente nella procedura di valutazione della soluzione tecnica prospettata. Una guida al software, contenente tutte le informazioni dettagliate sui contenuti del database, sulle procedure di calcolo e sulle modalità di lettura e interpretazione dei risultati ottenuti, è scaricabile in formato PDF direttamente dalla pagina iniziale. Attraverso questa maschera, è possibile comporre la stratigrafia dell'elemento da verificare; per questo, all'utente si richiede, inizialmente, di selezionare dalla finestra a scomparsa la località di riferimento e la tipologia di soluzione tecnica da verificare (chiusura verticale, chiusura orizzontale, partizione verticale, partizione orizzontale). Successivamente, è chiamato a comporre la stratigrafia della soluzione selezionando prima la categoria di elemento e successivamente, all'interno della categoria selezionata, il materiale preferito tra quelli compresi nell'elenco. Selezionando la categoria "custom", l'utente può inserire un nuovo materiale non presente in banca dati, purché abbia a disposizione tutti i dati richiesti dal software per il calcolo specifico. Una volta inseriti correttamente tutti gli strati, il software calcolerà in maniera automatica i valori di massa superficiale  $M_s$ , trasmittanza termica  $U$ , trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$ , sfasamento  $s$  e fattore di attenuazione  $fa$ . In questo modo, prima di procedere con il calcolo completo dei restanti parametri igrometrici, acustici ed ambientali, l'utente può verificare la rispondenza della prestazione alle esigenze progettuali e ai requisiti minimi previsti dalla normativa nazionale cogente ed apportare le eventuali modifiche alla stratigrafia, prima di generare il report completo del profilo ambientale. Terminata questa prima fase, è possibile generare il documento PDF del profilo ambientale completo della soluzione tecnica, che include le indicazioni di input fornite (tab. 2), i valori delle prestazioni termiche, igrometriche e acustiche (selezionando la procedura di calcolo idonea; tab.3), nonché il profilo LCA (fig. 2), da salvare, se lo si desidera, su supporto personale.

**Fig 2. Profilo LCA della soluzione tecnica 1. Il totale è calcolato, per ognuno dei 6 indicatori, sulla base dell'impatto annuo valutato in relazione alla vita utile del materiale e successivamente ponderato al rapporto tra il valore  $Y_{IE'lim}$  e il valore  $Y_{IE}$  di progetto.**





**Fig 3. Il caso studio. Progetto per una residenza: sezioni e dettagli esecutivi delle configurazioni di involucro.**

Legenda (a):

1. pannello sandwich in lamiera grecata di alluminio con isolante in poliuretano
2. pannello isolante
3. strato di ripartizione e pendenza in cls alleggerito con argilla espansa
4. solaio in laterocemento
5. intonaco interno a calce e gesso

Legenda (b):

1. intonaco interno
2. solaio in laterocemento
3. isolante termico
4. guaina impermeabilizzante
5. coppi e tegole

Legenda (c):

1. intonaco interno a calce e gesso
2. muratura in laterizio alleggerito in pasta murato a malta tradizionale
3. malta di allettamento
4. cappotto in lana di roccia
5. intonaco esterno armato

Legenda (d):

1. intonaco interno a calce e gesso
2. muratura in laterizio alleggerito in pasta murato a malta tradizionale
3. rinzaffo con malta di calce e cemento
4. pannello termoisolante
5. rivestimento faccia a vista in laterizio

Legenda (e):

1. strato di ripartizione e pendenza in cls alleggerito con argilla espansa
2. guaina per isolamento acustico anticalpestio
3. massetto portaimpanti in cls alleggerito con argilla espansa
4. solaio in laterocemento
5. pannello isolante in fibra di legno
6. intonaco a calce e gesso

Il software si propone quale strumento di supporto alla progettazione, in grado di offrire al progettista non soltanto una verifica dei dati prestazionali significativi delle soluzioni tecniche di involucro previste dal progetto, ma soprattutto gli elementi utili al confronto tra soluzioni alternative sulla base del profilo ambientale in relazione alla prestazione termica in regime estivo. Tenendo conto, infatti, della specificità climatica dell'ambito mediterraneo, i risultati del profilo LCA delle soluzioni vengono rielaborati dal software in relazione alla durata di vita utile di ogni singolo materiale e, successivamente, ponderati sulla base del rapporto tra la trasmittanza termica periodica limite  $Y_{IE, lim}$ , prevista dalla normativa nazionale, e il valore della trasmittanza termica periodica di progetto  $Y_{IE}$ . Il caso studio, considerato nel seguito, riporta l'analisi comparata di un progetto per una residenza, con struttura a telaio in cls e tamponamento in muratura, per la quale sono state messe a confronto due diverse soluzioni di tamponamento, calcolate a parità di trasmittanza termica  $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ :

- tamponamento in laterizio alleggerito con rivestimento in laterizio faccia a vista
- tamponamento in laterizio alleggerito con cappotto esterno e due diverse soluzioni di copertura (valutate anch'esse a parità di trasmittanza termica  $U=0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ ):
- copertura ventilata isolata con manto in elementi di laterizio
- copertura isolata con manto in lamiera grecata.

I grafici da fig. 4 a fig. 7 riportano i valori comparati dei profili ambientali delle quattro soluzioni tecniche, relativi ai due indicatori di impatto di riferimento: riscaldamento globale e consumo di risorse energetiche. La valutazione generale, che premia, per il tamponamento di chiusura verticale, la performance della soluzione faccia a vista e, per la copertura, quella con manto in elementi di laterizio, è condizionata principalmente dalla diversa vita utile dei materiali: la maggiore durata degli elementi in laterizio comporta infatti, nella prospettiva di una vita utile prevista dal progetto per l'edificio di almeno 80 anni, una riduzione significativa degli impatti ambientali tenuto conto delle operazioni di sostituzione e manutenzione. Nel contesto mediterraneo, la scelta della soluzione con rivestimento in "faccia a vista", combinata alla migliore prestazione termica in regime estivo, indica, infatti, una diminuzio-

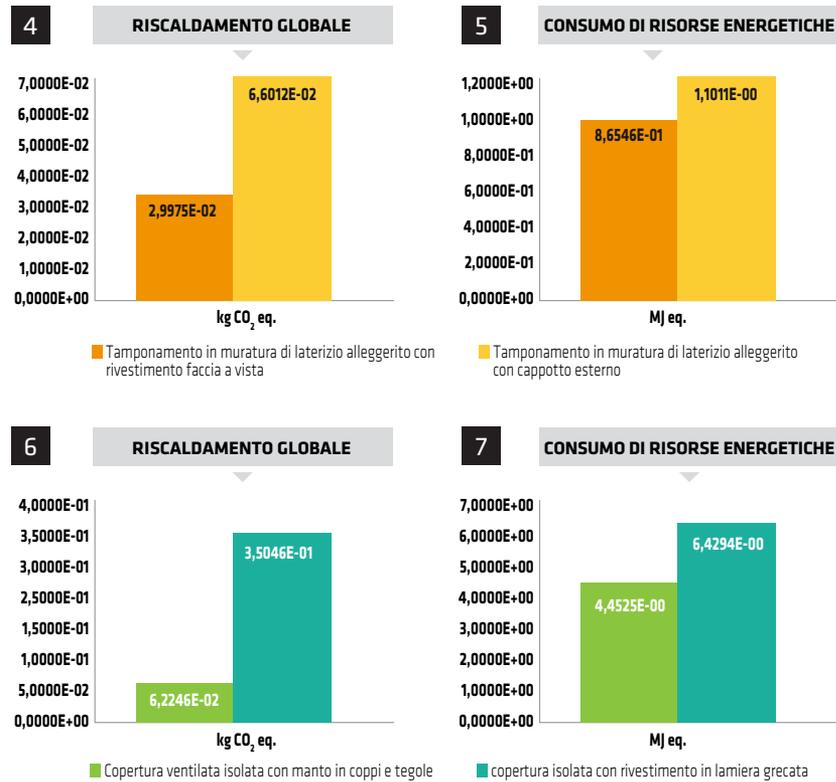
ne di circa il 55% degli impatti relativi al surriscaldamento globale e del 21% del consumo di risorse. Analogamente per la copertura, pur avendo entrambe le soluzioni pari trasmittanza e massa superficiale, la soluzione in laterizio risulta maggiormente vantaggiosa in termini ambientali, con un risparmio che si attesta nell'ordine dell'80% per quanto concerne il riscaldamento globale e del 30% in riferimento all'uso di risorse.

**Fig 4. Soluzioni di muratura a confronto: riscaldamento globale.**

**Fig 5. Soluzioni di muratura a confronto: consumo di risorse.**

**Fig 6. Soluzioni di copertura a confronto: riscaldamento globale.**

**Fig 7. Soluzioni di copertura a confronto: consumo di risorse.**



## Conclusioni

Il software Laterlife si propone quale strumento in grado di rispondere e soddisfare le crescenti necessità progettuali di disporre di un numero sempre maggiore di informazioni “quantificate” e comparabili sulle caratteristiche di materiali ed elementi tecnici, in risposta alle esigenze di un mercato edilizio e di uno scenario progettuale sempre più orientati verso la sostenibilità ambientale.

Dall’analisi dei dati numerici e dei grafici, il progettista è in grado di ricavare tutte le informazioni utili alla caratterizzazione della performance energetica ed ecologica della soluzione scelta e di tracciare, conseguentemente, un profilo ambientale dell’edificio nel suo complesso in relazione allo scenario definito. Il tool si propone anche un secondo e più ampio obiettivo scientifico, ovvero di costituire uno strumento di indagine e classificazione dei profili ambientali della pratica corrente del costruire in laterizio, dato che è in grado di archiviare le valutazioni generate dagli utenti per le diverse soluzioni tecniche simulate.

L’analisi di questo database ampliato consentirà da un lato di individuare le soluzioni tecniche che costituiscono la pratica corrente (BAU, Built As Usual) e la migliore pratica (BAT, Best Available Technologies), in termini di spessori, stratigrafia e materiali impiegati, dall’altro di ottenere una esauriente raccolta delle performance delle suddette soluzioni come valori caratterizzanti per determinati contesti climatici. Per quanto in specifico riguarda la prestazione ecologica calcolata in termini di LCA (cradle to gate), dall’analisi di

tale database, sarà quindi possibile ricavare una scala di benchmark, attualmente assente in letteratura e nelle stesse disposizioni normative, particolarmente interessante per sviluppare sistemi di etichettatura e di punteggio in fase di forniture per appalti orientati al Green Procurement (acquisti verdi). Ciò permetterà di elaborare una tabella dei profili LCA di soluzioni tecniche in laterizio, che potrà costituire il primo strumento nazionale di giudizio “quantificato” della sostenibilità ambientale di sistemi edilizi, basato sull’approccio LCA.

#### Note

1. European Commission (2005), COM (2005) 535 final: A Strategy for Simplification of the Regulatory Environment, Brussels.
2. Construction Product Regulation -CPR-, cfr. Commission of the European Communities “Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of the construction products” (il nuovo CPR dovrebbe uscire nel 2010).
3. D.lgs. 192/05, “Attuazione della Direttiva 2002/91/CE”; D.lgs. 311/06, “Disposizioni correttive al D.lgs.192/05”; DPR 59/09; DM 26/06/2009 (linee guida nazionali).
4. Directive P6\_TA(2009)0278 Energy performance of buildings – recast.
5. “Cost-optimal level” significa, secondo la nuova direttiva, il livello al quale l’analisi costi-benefici calcolata sull’intero ciclo di vita è positiva, considerando il valore attuale netto dell’investimento, i costi di gestione e manutenzione, eventuali guadagni da produzione di energia e i costi di fine vita.
6. Decreto Legislativo 19/08/ 2005 n. 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”.
7. European Commission: Standardization Mandate to CEN - M/350 EN, Development of horizontal standardized methods for the assessment of the integrated environmental performance of buildings, marzo 2004. Mandate M350.
8. Confini del sistema per l’analisi LCA sono stati stabiliti sulla base della regola “cradle to gate” ed includono quindi tutti i processi a partire dalla fase di approvvigionamento delle materie prime fino al confezionamento del prodotto prima dell’uscita dal cancello dello stabilimento di produzione. Non includono la fase di trasporto del materiale al cantiere, né alcuno scenario di fine vita, né il contributo della soluzione tecnica all’impatto ambientale durante la fase di uso dell’edificio in cui è collocata. L’analisi tiene in considerazione il consumo di risorse primarie, energetiche e di materiali, le emissioni in aria e in acqua lungo l’intero ciclo di vita. Il mix energetico impiegato negli scenari si riferisce al contesto italiano.

#### Bibliografia

1. Torricelli M.C., E. Palumbo (2008), Soluzioni tecniche in laterizio per progettare nel ciclo di vita, Costruire in Laterizio, n. 125, pp. 61-69, ISSN: 0394-1590.
2. Torricelli M.C. (2007), I vantaggi per i produttori e il ruolo delle imprese, in: Neri P. (a cura di), Linee guida per un approccio life cycle alla progettazione eco-sostenibile degli edifici, pp. 43-45, Firenze, Alinea Editrice, ISBN/ISSN: 978-88-6055-174-0.
3. Torricelli M.C., C. Gargari, E. Palumbo (2007), The life cycle assessment of italian clay brick products, in: CIB, iISBE, UNEP.TURIN, 7-8 giugno 2007, n. 1, pp. 319-328, ISBN/ISSN: 10 88-7661-748-5.
4. Torricelli M.C., C. Gargari, E. Palumbo (2007), Valutazione ambientale nel ciclo di vita dei prodotti in laterizio, Costruire in Laterizio, n. 116, pp. 158-166, ISSN: 0394-1590.





**FORMEDIL**

ENTE NAZIONALE PER LA  
FORMAZIONE E L'ADDESTRAMENTO  
PROFESSIONALE NELL'EDILIZIA



Formedil e Andil, nell'ambito del progetto *Agire* avviso 5/2013 finanziato da Fondimpresa, con l'obiettivo di promuovere la cultura del laterizio per il suo corretto impiego e posa in opera, hanno curato la pubblicazione della guida - *I laterizi: risparmio energetico, sostenibilità e salubrità*. Uno strumento approfondito ma di facile utilizzo tanto nelle attività di formazione delle Scuole Edili che come supporto al personale operativo e tecnico di cantiere.



LATERIZIO.it



Promosso da:

---



Finanziato da:

---



Avviso 5/2013 - I scadenza  
Codice Identificativo AVS/170/13

