

Il comportamento energetico-ambientale di involucri in laterizio

Il Dipartimento di Scienza e Tecnologia dell'Ambiente Costruito (BEST) del Politecnico di Milano ha condotto per conto di ANDIL Assolaterizi una ricerca avente come oggetto alcune valutazioni sulle prestazioni termiche di prodotti in laterizio e sul comportamento energetico-ambientale nel contesto italiano di soluzioni tecniche di involucro massive

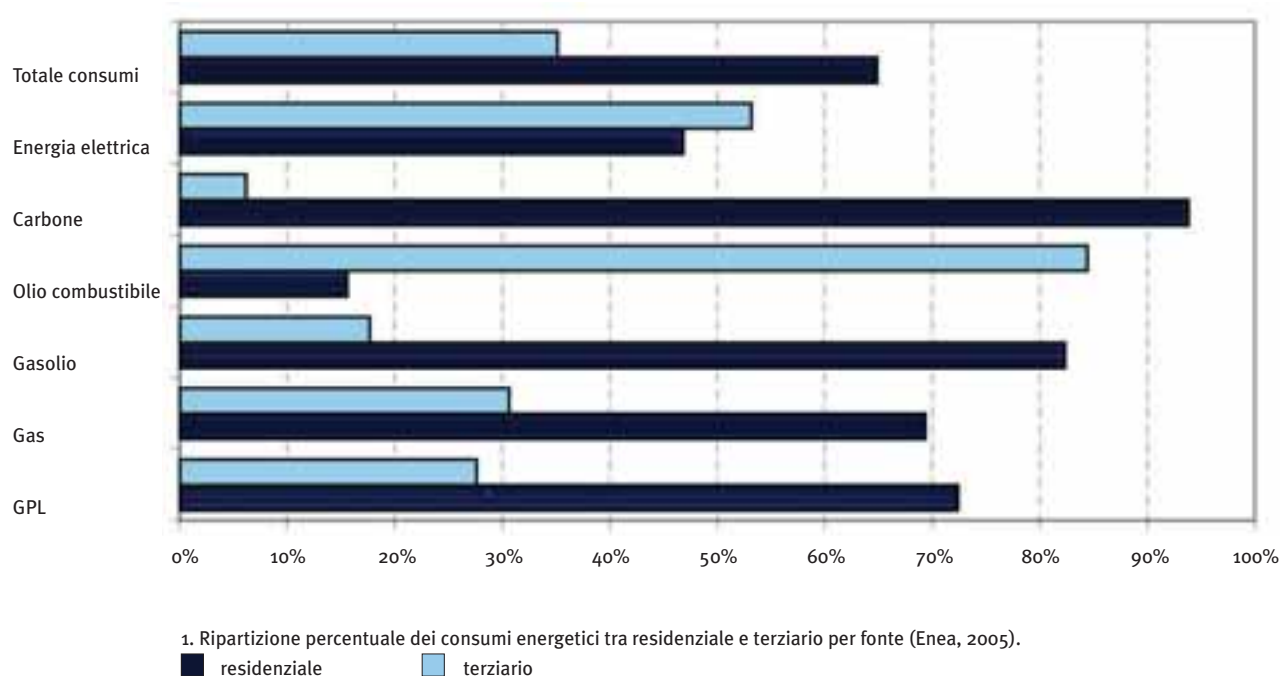
La ricerca *“Prestazioni termiche e comportamento ambientale di soluzioni tecniche di involucro in laterizio finalizzate all'efficienza energetica degli edifici”* ha avuto fondamentalmente due obiettivi.

Da un lato, l'organizzazione di una serie di conoscenze relative sia al comportamento energetico dell'edificio, inteso come sistema (restituzione del quadro delle norme sul risparmio energetico in Europa e delle esperienze sulla certificazione energetica degli edifici e individuazione delle principali pratiche tecnico-costruttive che caratterizzano gli edifici a basso consumo energetico costruiti in Europa e in Italia), sia alle prestazioni energetiche dei prodotti edilizi che vanno a comporre l'edificio (indagine sull'offerta produttiva del laterizio, sulle variabili di prodotto, sulla informazione tecnica veicolata dalla marcatura CE). Dall'altro, l'elaborazione di valutazioni del comportamento energetico sia alla scala dei prodotti in laterizio (analisi delle specifiche prestazioni termiche al fine di individuare l'incidenza delle variabili di prodotto sul miglioramento delle prestazioni), sia alla scala della soluzione tecnica di involucro (definizione di una procedura di scelta dei prodotti e verifica delle prestazioni, utile ai progettisti per l'individuazione di soluzioni tecniche adeguate a rispondere al D.Lgs. 192/05 e al D.Lgs. 311/06, e accertamento del comportamento di tali soluzioni tecniche, in regime dinamico periodico, per il dimensionamento ottimale della massa termica e dell'isolamento termico nella stratigrafia muraria), sia, infine, alla scala dell'edificio (valutazione, attraverso simulazioni in regime dinamico condotte con DOE.2, del comportamento energetico di diverse soluzioni tecniche di involucro in differenti tipologie di edifici).

Il quadro di riferimento Il mercato delle costruzioni, da molti anni ormai, rappresenta una significativa componente di dinamismo economico, grazie soprattutto al motore dell'edilizia residenziale che svolge un ruolo strategico e predominante, alimentato dalla domanda di investimento e, in particolare, dalla grande richiesta espressa dalle nuove famiglie. In questo contesto di crescita economica del settore, con conseguenti problemi politico-sociali, economici e ambientali, è sempre più stringente l'importanza di mettere in atto delle strategie di risparmio energetico e qualificazione ambientale degli edifici residenziali. “Mancano atti politici sulle due vie maestre del miglioramento dell'efficienza energetica e dello sviluppo delle nuove fonti rinnovabili e c'è ancora chi non vede il vantaggio anche competitivo che l'economia italiana ricaverebbe dal fatto di ridurre la propria dipendenza energetica” (Legambiente, 2005).

Il quadro economico e lo scenario del settore delle costruzioni evidenziano quanto sia importante avviare politiche mirate al rispetto ambientale e al risparmio energetico, che potrebbero essere la chiave per qualificare lo sviluppo del settore e contribuire quindi a quello del Paese.

È vero che il settore delle costruzioni è un settore trainante dell'economia, ma contemporaneamente è anche il principale responsabile del degrado ambientale. Da un lato, edificare genera impatti sull'ambiente, non solo all'atto della costruzione, ma anche lungo tutto il processo, dall'approvvigionamento delle materie prime, produzione e trasporto, fino alla dismissione dell'edificio e smaltimento delle macerie da demolizione. Dall'altro, l'uso dell'edificio genera impatti per poter garantire condizioni di comfort e benessere interno, in-



teragendo dunque con le esigenze degli abitanti e garantendo loro spazi vivibili e adeguati alle attività che negli edifici si svolgono normalmente.

Una unità abitativa media – ad esempio, un appartamento di 90÷100 m² – richiede per la sua costruzione circa 100 tonnellate di materiali con un costo energetico complessivo medio di 500÷700 kcal/kg di prodotto. Il costo energetico dei materiali necessari per realizzare un’abitazione si aggira sulle 5 tonnellate di petrolio e il costo energetico del cantiere è di circa 0,5 tonnellate di petrolio.

A fronte di questi costi, il consumo medio annuo per il riscaldamento invernale di un’abitazione italiana è all’incirca di una tonnellata di petrolio. In pratica, in poco più di 5 anni un appartamento consuma per il solo riscaldamento una quantità di energia uguale a quella impiegata per la sua costruzione (Enea, Finco, 2004).

In particolare, in Italia i consumi finali di energia nel settore civile sono caratterizzati da un progressivo aumento. In questo ambito, la quota predominante dei consumi energetici è da attribuire al settore residenziale: nel 2003 è responsabile del 65% del totale contro il 35% del terziario (fig. 1). L’incremento dei consumi energetici è dato principalmente dai consumi elettrici e in particolare dalla crescita del picco estivo, dovuto soprattutto agli usi civili: le famiglie in possesso di un condizionatore sono passate dal 10,7% del 2001 al 16,4% del 2003 (Enea, 2005).

L’aumento dei consumi per il condizionamento estivo non è un problema solo italiano: in Europa si sta verificando una crescita generale (imputabile, negli altri Paesi, soprattutto al settore terziario). Osservando, infatti, le indagini sulla quan-

tità di superfici climatizzate in Europa durante il periodo estivo emerge quanto queste siano in crescita in tutte le nazioni e come l’incremento degli ultimi anni in Italia e Spagna sia nettamente superiore (50%) e con notevole distacco rispetto a quello degli altri Paesi europei (fig. 2). In Europa, l’area totale raffrescata è stimata passare dai 1.000 milioni di m² del 2003 ai circa 2.000 milioni di m² del 2010 (EECCAC, 2003).

Naturalmente la crescita dei consumi per la climatizzazione estiva si riflette sull’aumento delle emissioni di CO₂ (fig. 3). Questo quadro richiede necessariamente un cambiamento di direzione, tenendo conto sia degli impegni assunti dall’Italia con il Protocollo di Kyoto, sia del fatto che la stessa è debitrice dall’estero di oltre il 90% dei suoi consumi energetici. Infatti, oltre alla questione ambientale, non va dimenticato il problema dell’approvvigionamento delle fonti energetiche non rinnovabili da parte dei Paesi occidentali, che ha serie implicazioni di tipo economico e politico.

Nasce da qui la necessità di governare i consumi di gestione degli edifici (riscaldamento, condizionamento, acqua calda sanitaria, illuminazione, ventilazione, consumi degli elettrodomestici, ecc.) con maggiore attenzione rispetto all’efficienza dei processi di produzione.

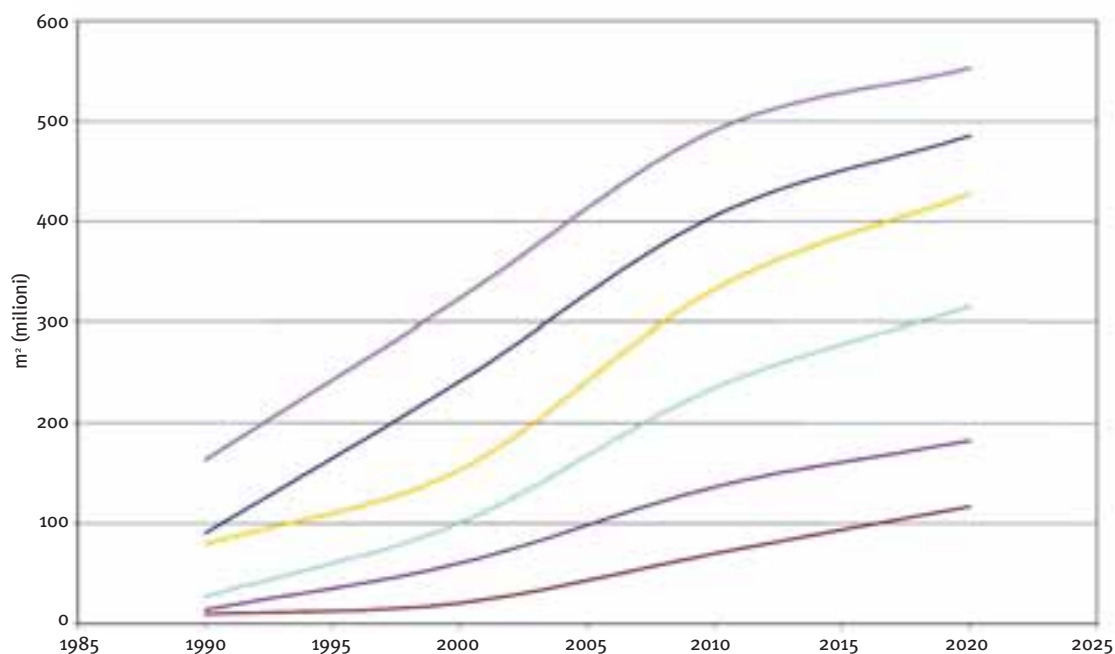
Il recepimento della Direttiva europea sul rendimento energetico nei Paesi mediterranei

L’entrata in vigore della Direttiva europea sul rendimento energetico degli edifici ha imposto agli Stati membri di mettere in atto azioni per il risparmio energetico. Mentre molti Stati del nord Europa (Danimarca, Olanda, Germania, Francia ecc.) avevano già legiferato in materia, avviando anche in forma volontaria l’intro-

2. Trend di crescita delle superfici raffrescate (CAC) per i diversi Paesi dal 1985 al 2020 (EECCAC, 2003).

Legenda:

- Spagna
- Italia
- Francia
- Germania
- Grecia
- Portogallo



duzione di sistemi di certificazione energetica, l'Italia si è fatta cogliere impreparata e ha messo in atto un lento processo di elaborazione del recepimento della Direttiva, che non ha ancora trovato fine (soprattutto sul versante della certificazione). In particolare, l'Italia ha puntato tutta l'attenzione sul risparmio energetico invernale, quando uno dei problemi da porre sotto controllo è sicuramente quello legato alla fase estiva, in termini sia di consumi che di comfort. Spagna e Portogallo, per esempio, hanno già introdotto un sistema di certificazione che prevede la doppia verifica anche sui fabbisogni energetici, sia invernali che estivi.

Le norme tecniche per il calcolo delle prestazioni energetiche del sistema edificio

I sistemi di certificazione energetica in uso attualmente in Europa prevedono l'esplicitazione del solo fabbisogno energetico annuale per il riscaldamento, tramite il calcolo proposto dalla norma EN 832. Va sottolineato che, invece, la Direttiva europea pone come obiettivo la verifica integrata anche di altri indicatori di consumo energetico, in particolare il raffrescamento estivo e l'illuminazione, e non trascura la verifica del comfort termico: progettare edifici a basso consumo energetico, pertanto, non deve far perdere di vista l'obiettivo di costruire edifici salubri e confortevoli. Sia la verifica del consumo energetico estivo, sia la verifica del comfort richiedono l'introduzione di modalità di calcolo non più basate sul calcolo in regime stazionario (come avviene di fatto con la EN 832, enfatizzando il ruolo della sola trasmittanza termica), ma sul calcolo in regime dinamico, che consente di tenere in considerazione il ruolo dell'inerzia termica e della massa (evidenziandone i vantaggi anche in condizioni invernali).

Le prestazioni termiche dei prodotti in laterizio

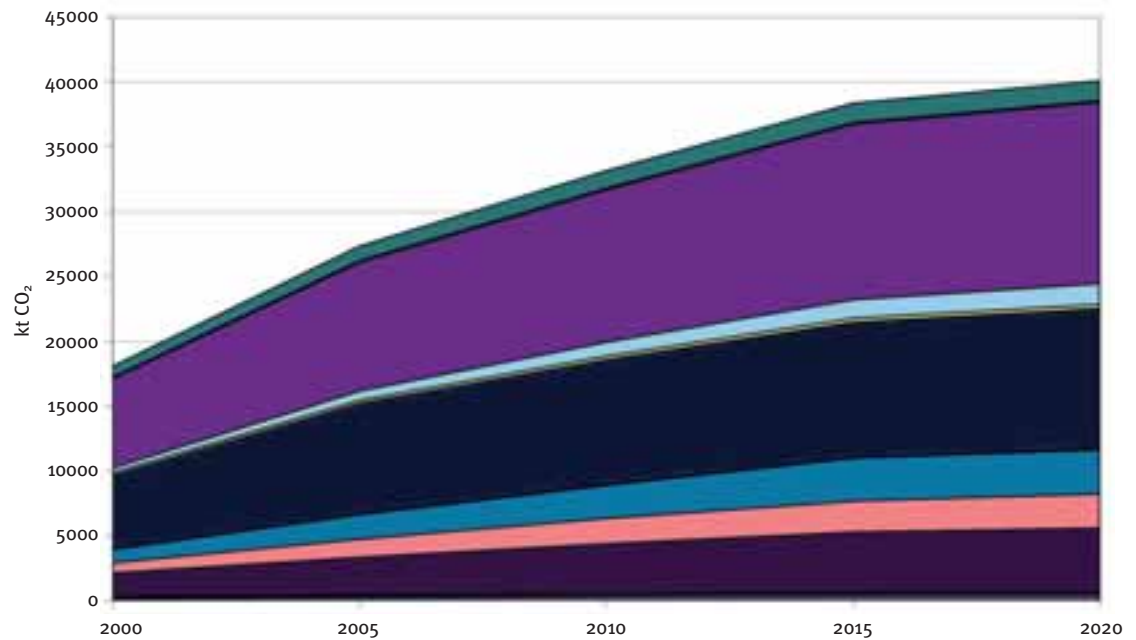
La ricerca di procedure di calcolo energetico sofisticate, per ottenere valori più aderenti al comportamento reale degli edifici, richiede la conoscenza e la disponibilità di informazioni tecniche sempre più articolate e dettagliate sui materiali che vanno a costituire l'edificio. Inoltre, la dinamicità e l'evoluzione continua dei prodotti offerti sul mercato rendono obsoleto il riferimento a informazioni tecniche di prodotto tratte da repertori o dalla manualistica. I prodotti innovativi dovrebbero essere accompagnati da una dettagliata informazione tecnica, in cui siano esplicitati i valori utili alle verifiche energetiche a livello di edificio. Questa sinergia informativa in realtà non è così diffusa e persino la recente (obbligatoria) marcatura CE non rappresenta uno strumento di comunicazione sufficientemente completo. Le informazioni tecniche utili alle verifiche energetiche risultano dunque spesso difficilmente accessibili, spingendo i tecnici all'uso di repertori o norme tecniche che restituiscono però valori di riferimento spesso lontani dalla realtà dell'offerta di mercato.

Dall'analisi dei prodotti in laterizio oggi disponibili, emerge un processo di innovazione continuo al fine del miglioramento prestazionale: in particolare, per aumentare la resistenza termica dei blocchi sono state condotte sperimentazioni sulla conducibilità e densità dell'impasto, sulla percentuale di foratura e densità degli elementi, sulla geometria dei fori (nel rispetto dei vincoli dettati dalla normativa sismica, nel caso dei blocchi portanti), sui giunti (realizzati con malta termica o annullandoli nel caso dei blocchi a incastro e rettificati), ottenendo prodotti e soluzioni tecniche sempre più performanti. Al fine di comprendere l'incidenza di questi fattori sulle prestazioni termiche dei prodotti, è stata condotta una campagna

3. Emissioni di CO₂ per il raffrescamento in Europa (EECCAC, 2003).

Legenda:

- UK
- SW
- SP
- PO
- NE
- LU
- IT
- IR
- GR
- GE
- FR
- FI
- DE
- BE
- AU

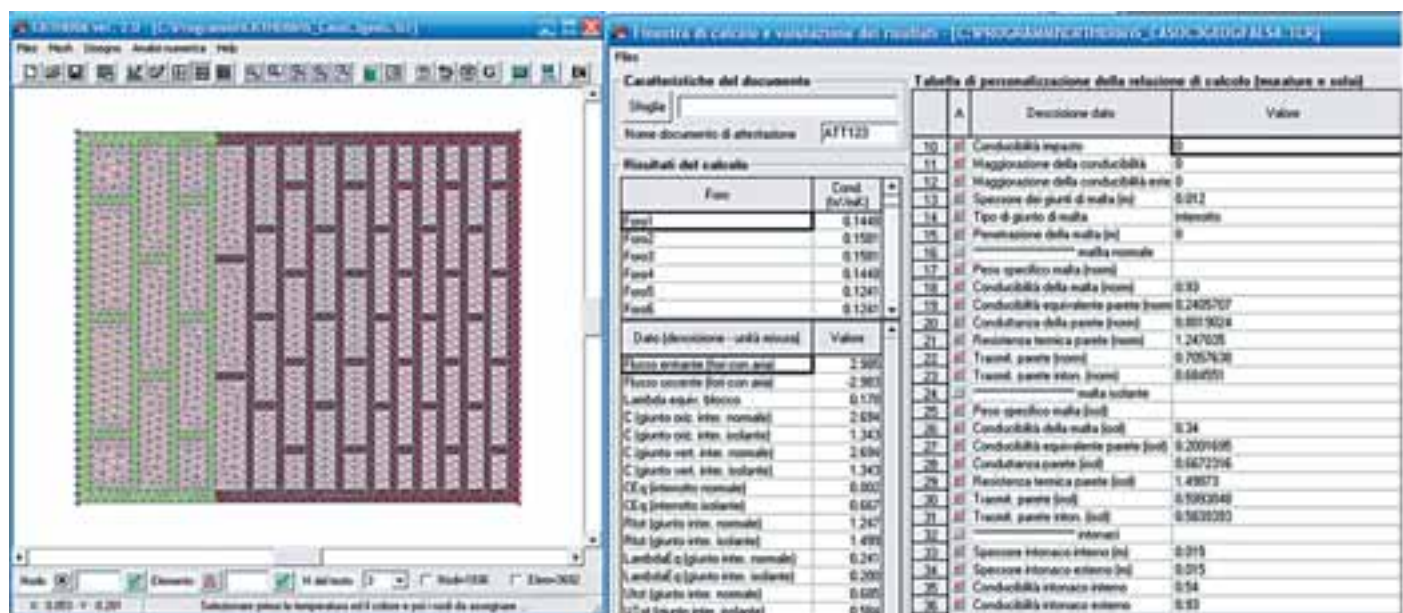


di valutazioni (fig. 4), basate sulla norma tecnica UNI EN1745 (che ha sostituito la UNI 10355), da cui è emerso che il ruolo prioritario è da attribuire alla geometria dei fori e all'annullamento dei giunti conseguibile con l'uso di blocchi rettificati.

Le soluzioni tecnico-costruttive per la realizzazione di involucri energeticamente efficienti È stata condotta un'indagine sulle principali soluzioni tecnico-costruttive adottate nelle realizzazioni di edifici a basso consumo energetico in Europa e in Italia. Nel nord Europa si è assistito a un progressivo affermarsi di soluzioni leggere iperisolate (realizzate semplicemente come stratificazione di materiale isolante), il cui

contributo alla riduzione della trasmittanza termica (e quindi delle dispersioni termiche) risultava premiante nella valutazione del comportamento energetico invernale.

In realtà, questi modelli costruttivi, privi di inerzia termica, hanno prestazioni inferiori sia dal punto di vista del comfort abitativo che da quello del risparmio energetico, rispetto a involucri edilizi più "pesanti", a parità di condizioni al contorno. Ne è derivata una "controtendenza" che ripristina la presenza e il ruolo della massa: le soluzioni di involucro più evolute propongono oggi soluzioni miste, con chiusure di grande spessore che abbinano murature massive e materiale isolante (per lo più applicato "a cappotto").



4. Valutazione della conducibilità termica equivalente dei blocchi in laterizio, basata sulla norma tecnica UNI EN 1745.

ZONA E trasmittanza limite U<0.46 W/m²K (ad esempio, Bologna, Milano, Torino, Venezia)

Muratura monostrato con intonaco termico					la soluzione tecnica indicata, per poter essere conforme al dlgs 192/05, deve prevedere le seguenti prestazioni dello strato in muratura: resistenza termica minima della muratura con i giunti in malta $R = 1,67$ m^2K/W conduttanza termica massima della muratura con i giunti in malta $C = 1/R = 0,60$ W/m^2K per assicurare la prestazione dello strato in muratura i blocchi che lo costituiscono devono avere le seguenti prestazioni (marcatura CE): R resistenza termica minima del blocco (senza giunti) $0,53$ m^2K/W se si utilizza malta cementizia MC $1,70$ m^2K/W se si utilizza malta termica MT $1,74$ m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MC $1,69$ m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MT $1,67$ m^2K/W se si utilizzano blocchi rettificati conduttività termica equivalente massima del blocco (senza giunti) $\lambda_{eq} =$ spessore blocco / resistenza termica blocco esempi nel caso di blocchi normali con malta cementizia: S_{blocco} 35 cm S_{blocco} 30 cm S_{blocco} 25 cm S_{blocco} 25 cm $0,192$ $0,165$ $0,137$ $0,110$ W/mK W/mK W/mK W/mK	BLOCCO FORI VERTICALI 25x35x22,5 (sp 35 cm) PORTANTE R_{mur} 1,773 m^2K/W C_{mur} 0,564 W/m^2K giunti vert. a incastro e giunti orizz. di malta cementizia da 12 mm R_{blocc} NC $\lambda_{eqblocc}$ NC ρ_{blocc} 830 kg/m^3 Φ_{blocc} 45% impasto porizzato ρ_{appi} NC λ_{appi} NC		BLOCCO FORI VERTICALI 30x45x20 (sp 30 cm) PORTANTE SISMICO R_{mur} 1,773 m^2K/W C_{mur} 0,566 W/m^2K giunti verticali a incastro e malta termica R_{blocc} 1,957 m^2K/W $\lambda_{eqblocc}$ 0,23 W/mK ρ_{blocc} 826 kg/m^3 Φ_{blocc} 45% impasto porizzato ρ_{appi} 1540 kg/m^3 λ_{appi} 0,322 W/mK
s	λ	ρ	R					
spessore	conduttività	densità	resistenza					
m	W/mK	kg/m³	m²K/W					
1/he	-	-	0,04					
1 intonaco di calce e cemento	0,030	0,90	720	0,33				
2 muratura	-	-	-	1,67				
3 intonaco di calce e gesso	0,015	0,54	1500	0,03				
1/hi	-	-	-	0,12				
resistenza termica R della parete	-	-	-	2,19 m^2K/W				
trasmittanza termica U della parete	-	-	-	0,46 m^2K/W				

Muratura monostrato con cappotto					la soluzione tecnica indicata, per poter essere conforme al dlgs 192/05, deve prevedere le seguenti prestazioni dello strato in muratura: resistenza termica minima della muratura con i giunti in malta $R = 0,99$ m^2K/W conduttanza termica massima della muratura con i giunti in malta $C = 1/R = 1,01$ W/m^2K per assicurare la prestazione dello strato in muratura i blocchi che lo costituiscono devono avere le seguenti prestazioni (marcatura CE): R resistenza termica minima del blocco (senza giunti) $0,53$ m^2K/W se si utilizza malta cementizia MC $1,08$ m^2K/W se si utilizza malta termica MT $1,01$ m^2K/W se si utilizza malta termica MT $1,03$ m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MC 1 m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MT $0,99$ m^2K/W se si utilizzano blocchi rettificati conduttività termica equivalente massima del blocco (senza giunti) $\lambda_{eq} =$ spessore blocco / resistenza termica blocco esempi nel caso di blocchi normali con malta cementizia: S_{blocco} 35 cm S_{blocco} 30 cm S_{blocco} 25 cm S_{blocco} 25 cm $0,324$ $0,278$ $0,232$ $0,185$ W/mK W/mK W/mK W/mK	BLOCCO FORI VERTICALI 40x30x25 (sp 30 cm) PORTANTE R_{mur} 1,39 m^2K/W C_{mur} 0,719 W/m^2K giunti verticali a incastro e giunti orizz. di malta cementizia da 7 mm R_{blocc} 1,478 m^2K/W $\lambda_{eqblocc}$ 0,203 W/mK ρ_{blocc} 780 kg/m^3 Φ_{blocc} 45-55% impasto porizzato ρ_{appi} 1690 kg/m^3 λ_{appi} 0,355 W/mK		BLOCCO FORI VERTICALI 20x30x19 (sp 30 cm) PORTANTE R_{mur} 1,053 m^2K/W C_{mur} 0,950 W/m^2K giunti di malta cementizia da 8 mm R_{blocc} 1,158 m^2K/W $\lambda_{eqblocc}$ 0,259 W/mK ρ_{blocc} NC Φ_{blocc} 45% impasto porizzato ρ_{appi} 1550 kg/m^3 λ_{appi} 0,45 W/mK
s	λ	ρ	R					
spessore	conduttività	densità	resistenza					
m	W/mK	kg/m³	m²K/W					
1/he	-	-	0,04					
1 intonaco plastico	0,005	0,70	1000	0,01				
2 isolante per cappotto	0,040	0,04	80	1,00				
3 muratura	-	-	-	0,99				
intonaco di calce e gesso	0,015	0,54	1500	0,03				
1/hi	-	-	-	0,12				
resistenza termica R della parete	-	-	-	2,19 m^2K/W				
trasmittanza termica U della parete	-	-	-	0,46 m^2K/W				

Muratura doppio strato con isolante in intercapedine					la soluzione tecnica indicata, per poter essere conforme al dlgs 192/05, deve prevedere le seguenti prestazioni dello strato in muratura: resistenza termica minima della muratura con i giunti in malta $R = 0,49$ m^2K/W conduttanza termica massima della muratura con i giunti in malta $C = 1/R = 2,04$ W/m^2K per assicurare la prestazione dello strato in muratura i blocchi che lo costituiscono devono avere le seguenti prestazioni (marcatura CE): R resistenza termica minima del blocco (senza giunti) $0,53$ m^2K/W se si utilizza malta cementizia MC $0,50$ m^2K/W se si utilizza malta termica MT $0,51$ m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MC $0,49$ m^2K/W se si utilizzano blocchi a incastro con MT $0,49$ m^2K/W se si utilizzano blocchi rettificati conduttività termica equivalente massima del blocco (senza giunti) $\lambda_{eq} =$ spessore blocco / resistenza termica blocco esempi nel caso di blocchi normali con malta cementizia: S_{blocco} 17 cm S_{blocco} 12 cm S_{blocco} 10 cm S_{blocco} 8 cm $0,318$ $0,225$ $0,187$ $1,498$ W/mK W/mK W/mK W/mK	BLOCCO 25x12x24 (sp 12 cm) R_{mur} NC R_{mur} NC C_{mur} NC C_{mur} NC R_{blocc} 0,5 m^2K/W R_{blocc} 0,5 m^2K/W $\lambda_{eqblocc}$ 0,24 W/mK $\lambda_{eqblocc}$ 0,24 W/mK ρ_{blocc} 860 kg/m^3 ρ_{blocc} 860 kg/m^3 Φ_{blocc} 45% Φ_{blocc} 45% impasto porizzato ρ_{appi} 1510 kg/m^3 ρ_{appi} 1510 kg/m^3 λ_{appi} NC λ_{appi} NC		BLOCCO FORI VERTICALI 50x12x19 (sp 12 cm) PORTANTE R_{mur} 0,503 m^2K/W C_{mur} 1,987 W/m^2K giunti verticali a incastro R_{blocc} NC $\lambda_{eqblocc}$ NC ρ_{blocc} 770 kg/m^3 Φ_{blocc} 55% impasto porizzato ρ_{appi} NC λ_{appi} NC
s	λ	ρ	R					
spessore	conduttività	densità	resistenza					
m	W/mK	kg/m³	m²K/W					
1/he	-	-	0,04					
1 intonaco di calce e cemento	0,015	0,93	1800	0,02				
2 muratura	-	-	-	0,49				
3 isolante	0,040	0,04	80	1,00				
4 muratura	-	-	-	0,49				
5 intonaco di calce e gesso	0,015	0,54	1500	0,03				
1/hi	-	-	-	0,12				
resistenza termica R della parete	-	-	-	2,19 m^2K/W				
trasmittanza termica U della parete	-	-	-	0,46 m^2K/W				

5. Procedura di scelta di prodotti in laterizio funzionale al raggiungimento delle prestazioni di trasmittanza termica richieste dal D.Lgs. 311/06 e repertorio di soluzioni così individuate (Andrea Campioli, Simone Ferrari, Monica Lavagna, Eugenio Morello, Carol Monticelli, "Ricette di chiusura. Involucri in laterizio", Costruire n. 281, ott. 2006, pp. 165-180).

Il panorama mediterraneo invece si è sempre caratterizzato per una maggiore diffusione di soluzioni di grande spessore (in particolare murature monostrato o murature stratificate, con materiale isolante in intercapedine o posto all'esterno, dove prevale però lo strato resistente massivo).

La ricerca svolta ha individuato un repertorio di soluzioni rispondenti alle prestazioni richieste dal D.Lgs. 311/06 (che aggiorna il D.Lgs. 192/05), proponendo, più che una casistica di soluzioni conformi, una procedura di scelta di prodotti funzionale al raggiungimento delle prestazioni richieste (fig. 5). È opportuno sottolineare che la definizione di involucri termicamente performanti determina spesso un aumento degli spessori delle chiusure, da cui deriva una serie di criticità relative alla fase di realizzazione in cantiere: in particolare risulta ancora più accentuato il rischio di formazione di ponti termici, sia in corrispondenza dell'incontro tra chiusure opache e struttura portante, sia in corrispondenza dell'incontro tra chiusure opache e serramenti.

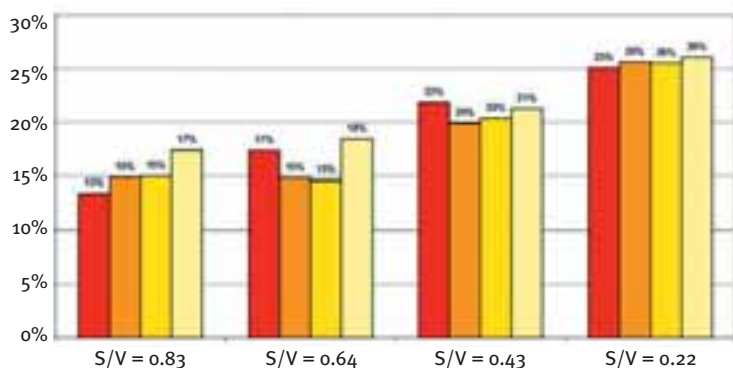
La sofisticatezza di definizione della stratigrafia dell'involucro deve essere necessariamente accompagnata da una accurata progettazione ed esecuzione dei nodi costruttivi.

Valutazioni energetiche, economiche e ambientali di soluzioni tecniche di involucro Dall'indagine dello stato dell'arte, è emerso come il dibattito sul tema energetico sia particolarmente animato rispetto alla questione della definizione

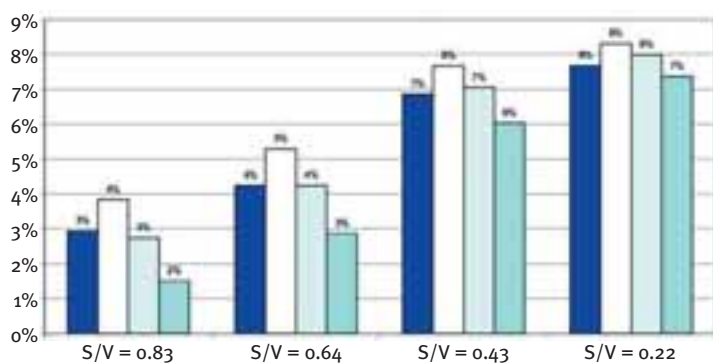
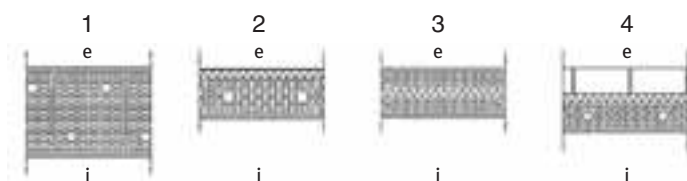
del corretto rapporto tra soluzioni tecniche iperleggere (costituite da solo materiale isolante, utilizzato in grandi spessori) e soluzioni tecniche massive in muratura (spesso anch'esse monostrato). Ricerche internazionali sul tema hanno cercato di delineare come la presenza sia della massa, con ruolo di inerzia termica, sia dell'isolamento, con ruolo di barriera alle dispersioni, sia parimenti importante per il contributo dato al risparmio energetico e al comfort termico.

A fronte di una normativa energetica italiana che privilegia il ruolo dell'isolamento (imponendo valori di trasmittanza termica limite e richiedendo la verifica del solo FEP invernale, trascurando la questione estiva), per quantificare il ruolo della massa in Italia sono state condotte, su diverse tipologie di edificio e in diverse zone climatiche, alcune simulazioni energetiche in regime dinamico (DOE.2), per testare diverse soluzioni di involucro (fig. 6). Ne è emerso che la soluzione priva di massa può richiedere consumi energetici, sia invernali che estivi, fino al 30% in più rispetto a soluzioni massive (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso).

Ulteriori verifiche di dettaglio sono state condotte sul rapporto tra massa e isolamento termico nella stratigrafia di involucro: tramite la valutazione delle caratteristiche dinamiche (UNI 13786) sono stati definiti i valori di ritardo/sfasamento e attenuazione/decremento (fig. 7), dimostrando che sostanzialmente non vi è un ruolo significativo del posizionamento dell'isolante nelle stratigrafie esaminate, ma quello che conta



Riduzione del fabbisogno energetico invernale nei quattro pacchetti di involucro presi in considerazione (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso) rispetto al tamponamento leggero.



Riduzione del fabbisogno energetico estivo nei quattro pacchetti di involucro presi in considerazione (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso) rispetto al tamponamento leggero.



6. Risultati delle simulazioni energetiche in regime dinamico (condotte con DOE.2) di diverse soluzioni di involucro (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso) per diverse tipologie di edifici, a Roma (Andrea Campioli, Simone Ferrari, Monica Lavagna, Eugenio Morello, Marco Baldinazzo, "Variabile tempo. Massa termica e risparmio energetico", *Costruire* n. 284, gen. 2007, pp. 94-99).

è il giusto equilibrio tra spessore dello strato massivo e spessore dello strato isolante (in base anche alle caratteristiche materiche dei componenti utilizzati).

La ricerca, inoltre, ha affiancato alle valutazioni energetiche anche la verifica dei costi di costruzione (fig. 8) e il computo dell'energia incorporata nelle soluzioni tecniche analizzate (fig. 9), al fine di accertare l'effettiva "sostenibilità" di scelte finalizzate al risparmio energetico anche sotto il profilo della riduzione degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita (LCA). Va sottolineato che la questione della "durata" dell'edificio è fondamentale per operare scelte coerenti anche dal punto di vista ambientale: è chiaro che, se una costruzione viene progettata per usi temporanei e con una aspettativa di vita di 25 anni, risultano vantaggiose soluzioni leggere, reversibili e con una ridotta energia incorporata. Ma se un edificio viene progettato per un uso prolungato e con una aspettativa di vita di oltre 100 anni (come avviene spesso nel settore residenziale), risultano vantaggiose soluzioni durevoli e che richiedono una ridotta manutenzione, anche se "pesanti" e con una elevata energia incorporata.

Spesso le questioni relative alla durabilità dei materiali e agli interventi di manutenzione e sostituzione sono trascurati, compromettendo di fatto l'efficacia e la validità del risultato che emerge da valutazioni ambientali: se si vogliono abbassare gli impatti occorre infatti puntare su una aspettativa di vita "lunga" che diluisca nel tempo le energie incorporate immesse nella fase di costruzione.

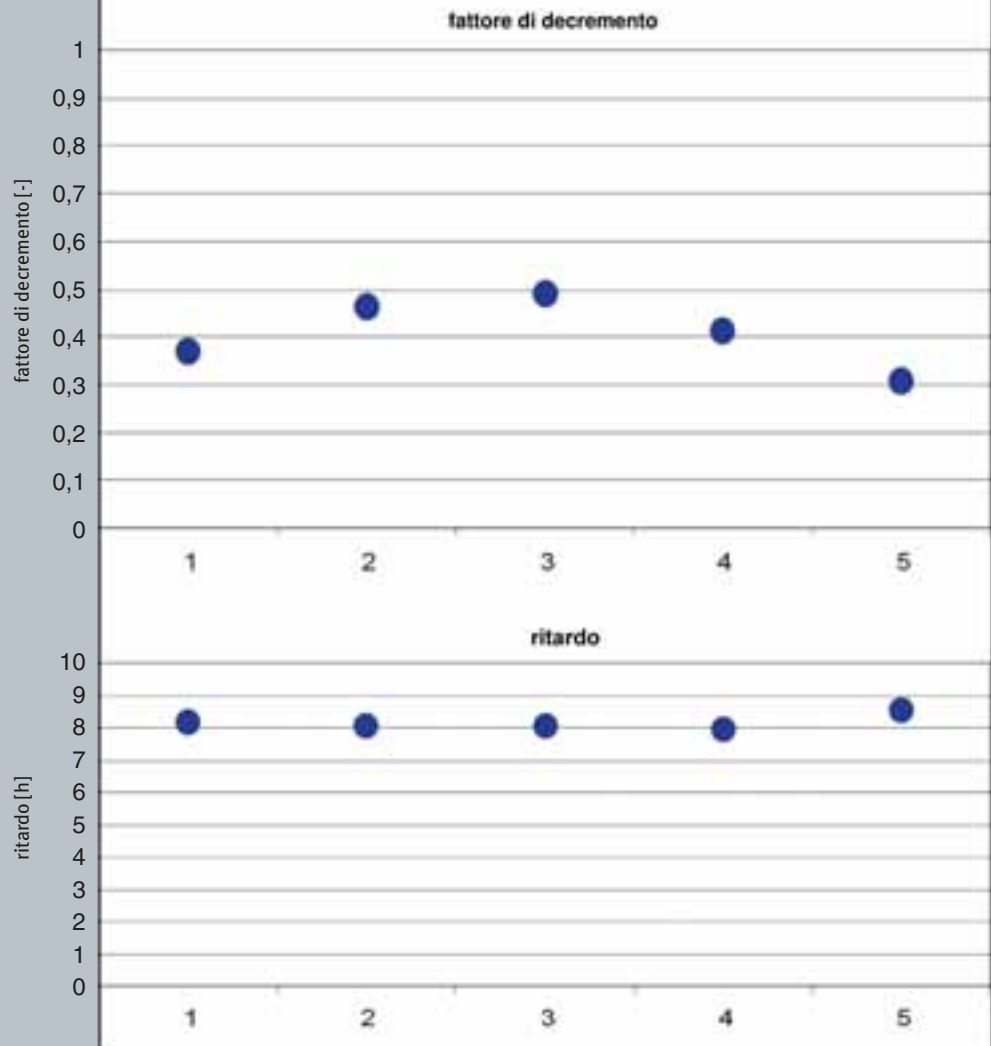
Oltre all'attenzione riposta nei confronti degli impatti relativi alla fase d'uso, sarebbe dunque opportuno tenere in considerazione anche quelli relativi alla costruzione e manutenzione dell'edificio, puntando su edifici caratterizzati non solo da bassi consumi energetici, ma anche da durata elevata e ridotte necessità di manutenzione e sostituzione dei componenti nel lungo periodo. ¶

Bibliografia

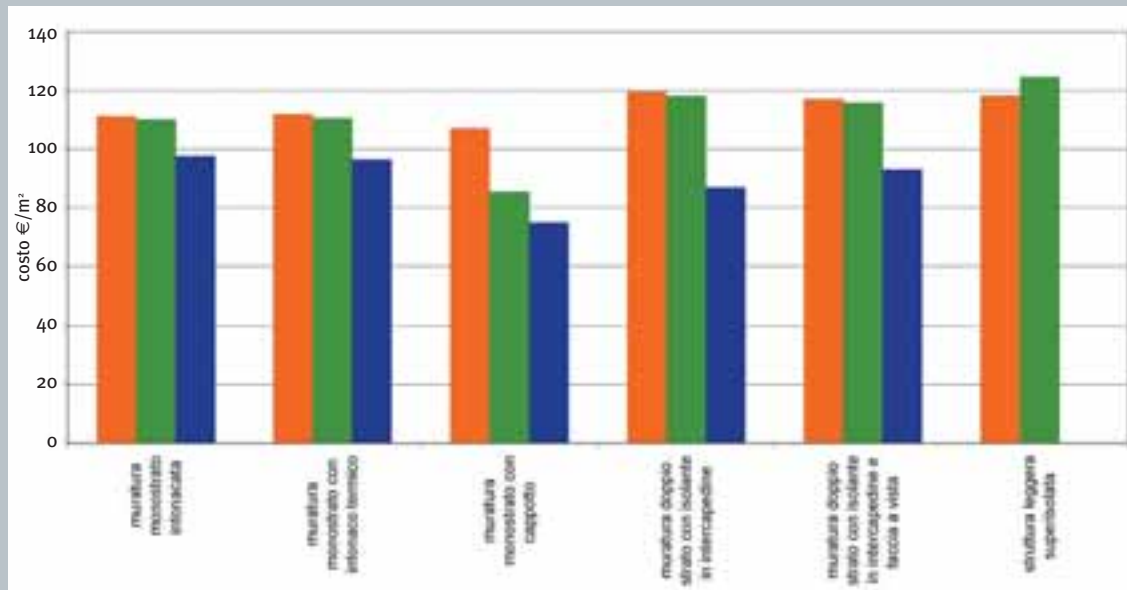
- Commission of the E.U., *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)*, Armines, Paris Cedex, (2003).
- Cresme, Città di Torino, Urban Center, *Il mercato delle costruzioni 2006, XIII rapporto congiunturale Cresme. Lo scenario di medio periodo 2005-2010*, Cresme, Roma (2005).
- ENEA, FIN.CO., Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, *Libro bianco energia, ambiente, edificio: dati, criticità e strategie per l'efficienza energetica del sistema edificio*, Il Sole 24 Ore, Milano (2004).
- ENEA, Ente per le nuove tecnologie l'energia e l'ambiente; Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, *Rapporto energia e ambiente 2005. Compendio, analisi, dati*, Enea, Roma (2005).
- M. Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico*, Libreria Clup, Milano (2005).
- Legambiente, *Ambiente Italia 2005. 100 indicatori sullo stato del Paese. Innovazione, qualità, territorio: idee contro il declino*, Edizioni Ambiente, Milano (2005).

Responsabile della ricerca: Andrea Campioli
 Gruppo di lavoro: Simone Ferrari (coordinamento area fisica tecnica), Monica Lavagna (coordinamento area tecnologia dell'architettura), Adriana Angelotti, Carol Monticelli, Eugenio Morello, Valeria Giurdanella, Alessia Massone, Enrica Quinto

		1	2	3	4	5
		isolante 4 cm + laterizio 17 cm	laterizio 4 cm + isolante 4 cm + laterizio 13 cm	laterizio 5,3 cm + isolante 4 cm + laterizio 8,3 cm	laterizio 13 cm + isolante 4 cm + laterizio 4 cm	laterizio 17 cm + isolante 4 cm
		1	2	3	4	5
		DOVE ISOLANTE				
proprietà parete	numero strati	4	5	5	5	4
	spessori parte composta [m]	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	massa frontale della parete [kg/m ²]	179,96	179,96	179,96	179,96	179,96
	conduttanza termica [W/m ² K]	0,51439	0,51439	0,51439	0,51439	0,51439
matrice di trasferimento	Z(1,1)	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i
	Z(1,2)	-0,027777-0,00019148i	-0,027777-0,00019148i	-0,027777-0,00019148i	-0,027777-0,00019148i	-0,027777-0,00019148i
	Z(2,1)	-0,010264-1,489i	-0,010264-1,489i	-0,010264-1,489i	-0,010264-1,489i	-0,010264-1,489i
	Z(2,2)	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i	0,99993+0,02068i
risultati	T	-0,18334-0,34773i	-0,21338-0,43655i	-0,22686-0,45641i	-0,18131-0,38877i	-0,17934-0,26796i
	fattore di decremento	0,3801	0,46581	0,51148	0,42887	0,32035
	sfasamento [°]	-7,8533	-7,7386	-7,7554	-7,6669	-6,2536
	ritardo [s] da UNI 13786	-4,1467	-4,2634	-4,2446	-4,3331	-3,7464
ritardo [h]	ritardo [h]	7,8533	7,7386	7,7554	7,6669	6,2536
	Y ₀	-2,5754-2,2618i	-2,5772-2,4464i	-2,1375-2,7211i	-1,1556-2,1246i	-0,9059-0,50986i
	Y ₁	-1,0067-1,3072i	-1,3395-2,2195i	-2,5511-2,1238i	-2,8493-1,8536i	-2,592-1,7712i
	α ₀ , Y ₀	3,4278	3,5534	3,4602	2,4165	0,95298
	α ₁ , Y ₁	-6,2472	-0,0994	-6,5434	-7,9028	-6,8436
α ₀ , Y ₁	1,6498	2,8627	2,3195	2,2335	3,1394	
α ₁ , Y ₁	-6,5028	-6,6434	-9,3481	-6,6579	-9,7103	



7. Valutazione delle ore di ritardo e del fattore di decremento (inerzia termica) di diverse soluzioni di involucro, a parità di trasmittanza termica (UNI 13786).



8. Valutazione dei costi di costruzione di diverse soluzioni di involucro, a parità di trasmittanza termica.

■ zona climatica E ■ zona climatica D ■ zona climatica B



9. Valutazione dell'energia incorporata (in rosso) in relazione a diverse soluzioni di involucro, a parità di trasmittanza termica. In rosso chiaro è indicata l'energia incorporata aggiuntiva imputabile agli interventi di manutenzione, considerando un arco temporale di 100 anni (se si tiene conto del ciclo di vita di un edificio, il valore dell'energia incorporata aumenta nel tempo in relazione agli interventi di manutenzione).