

## Ciclo di vita di edifici in laterizio: analisi integrata ambiente, energia e costi

M. Chiara Torricelli, Elisabetta Palumbo, Lisa De Cristofaro

*La seconda parte della ricerca, commissionata dall'ANDIL Assolaterizi al Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design (TAeD) "Pier Luigi Spadolini" dell'Università di Firenze, inerente la valutazione ambientale nel ciclo di vita di prodotti in laterizio<sup>(1)</sup>, ha riguardato l'applicazione della metodologia LCA (Life Cycle Assessment) alla scala di edificio (la prima parte è stata pubblicata nella Newsletter POROTON® n. 56).*

*Si tratta di un tema di grande attualità in relazione alla crescente sensibilità nei confronti del tema della sostenibilità ambientale delle soluzioni costruttive.*

L'analisi e la **valutazione ambientale** hanno preso in considerazione, in una prima fase, i singoli **elementi in laterizio**, in qualità di componenti delle soluzioni tecniche selezionate in fase di progettazione della ricerca: in muratura portante, in muratura di tamponamento, in muratura per divisori, solaio e copertura.

Per ogni soluzione tecnica esaminata, sono stati considerati gli impatti generati sia dai **processi produttivi e costruttivi**, sia dai **processi di demolizione** e fine vita della costruzione; a questi sono stati aggiunti gli impatti attribuibili ai **fabbisogni energetici** indotti dalle prestazioni di una superficie unitaria di ciascuna soluzione tecnica indagata, nell'ipotesi che questa costituisca parte di un'opera realizzata in una determinata zona climatica e per una vita utile dell'edificio di 80 anni.

La seconda parte della ricerca, da cui derivano i risultati riportati nel seguito, ha riguardato **l'analisi LCA** alla scala di edificio applicata a **due costruzioni campione**, uguali sotto il profilo volumetrico, per l'organizzazione degli spazi interni e per il contesto climatico, ma differenti per tecnologia costruttiva - essendo l'uno in muratura portante e l'altro a telaio in calcestruzzo armato e tamponamenti in muratura.

Le soluzioni tecniche adottate sono state scelte tra quelle esaminate nella prima parte della ricerca già pubblicata. Alla scala dell'edificio, la valutazione LCA è stata integrata con la **valutazione dei costi nel ciclo di vita** secondo la metodologia nota con la denominazione LCC (Life Cycle Cost).

Ne risulta pertanto una valutazione comparativa fra le due soluzioni campione scelte, condotta adottando criteri ambientali, energetici e di costo.

### Metodologia di analisi del ciclo di vita di un edificio e riferimenti normativi

Con il termine **Life Cycle** - ciclo di vita - di un edificio si indicano le diverse fasi del processo edilizio nell'ambito delle quali si collocano le attività (i sotto-processi) che attengono alle costruzioni edilizie (produzione, progettazione, costruzione), al loro uso (esercizio e manutenzione) e alla loro dismissione (termine della vita utile).

I principi ed il quadro metodologico per la progettazione e la valutazione integrate del ciclo di vita di un edificio sono stati recentemente formulati in un insieme di **norme ISO** riferite alla sostenibilità delle costruzioni, definite di tipo "verticale", ovvero riguardanti il tema dello sviluppo sostenibile in tutto il settore della costruzione.

Di questo gruppo fanno parte norme relative alla **sostenibilità della progettazione integrata** del ciclo di vita, quale la norma ISO/TS 21931-1:2006, "Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works - Part 1: Buildings", che fornisce i riferimenti per la definizione di metodi di valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici.

La progettazione del ciclo di vita trova, inoltre, riferimento nelle norme della serie ISO 15686, "Buildings and constructed assets - Service life planning - Edifici e beni immobiliari costruiti - Previsione della durata di vita", che trattano la pianificazione della vita utile in esercizio dei componenti e dei sistemi edilizi, considerando anche i costi nel ciclo di vita (Life Cycle Cost).

Mentre i metodi di valutazione dei costi nel ciclo di vita e quelli di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici (fase d'uso) si avvalgono da tempo di approcci quantitativi fondati sulle discipline estimative e fisico-tecniche, i primi metodi di valutazione ambientale alla scala dell'edificio hanno per lo più fatto riferimento a criteri qualitativi ed a valutazioni in termini di punteggio.

Le recenti indicazioni di normativa internazionale, supportate da importanti lavori di ricerca<sup>(2)</sup>, orientano verso una **valutazione del ciclo di vita sistemica, integrata e verticale**, con metodologie di valutazione - alla scala di edificio - fondate su criteri e parametrizzazioni quantitative, che inglobano i dati di valutazione ambientale applicata ai materiali e ai componenti edilizi con i dati relativi alla fase di esercizio e manutenzione dell'edificio nel suo complesso [fig. 1].

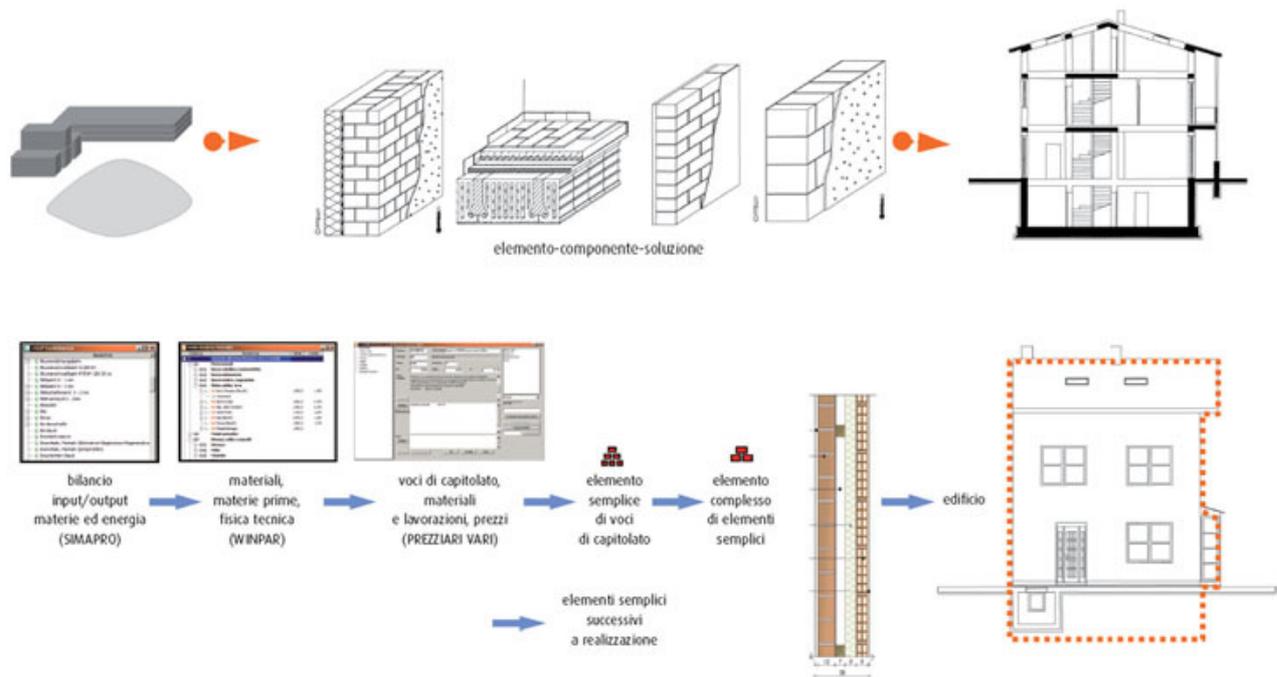


Fig. 1 - Processo di integrazione delle informazioni alla scala dell'edificio.

Nel campo della valutazione ambientale applicata all'edificio, la ricerca ANDIL Assolaterizi - TAeD Università di Firenze si è confrontata con le esperienze internazionali e nazionali, partecipando alle attività promosse da una rete di istituti di ricerca italiani che si è andata costituendo nel corso di questi ultimi anni, sotto la guida dell'ing. P. Neri dell'ENEA<sup>(3)</sup>, ed attivando una collaborazione con il gruppo di lavoro che ha messo a punto e sperimenta il software LEGEP, elaborato dall'Università di Karlsruhe, testato e implementato dal Fraunhofer Institut per la Fisica Tecnica e dall'Università Braunschweig<sup>(4)</sup>.

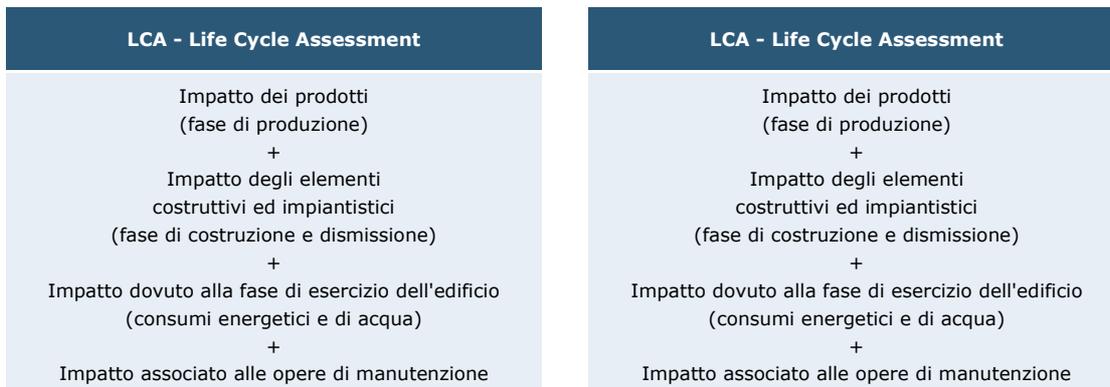


Fig. 2 - Composizione del Life Cycle Assessment e del Life Cycle Cost di un edificio.

### L'analisi integrata del ciclo di vita con il metodo LEGEP

Per la conduzione dell'analisi integrata (costi, fabbisogno energetico ed ambiente) del ciclo di vita di un edificio si è utilizzato il **software LEGEP**, in quanto ritenuto adeguato per la strutturazione metodologica in rapporto ai criteri sopra enunciati e per l'impostazione delle modalità di interfacciamento con l'utente, particolarmente orientate al progettista edile.

Il LEGEP è composto da quattro "sotto-programmi" interagenti tra loro e dotati di un proprio database. L'iter valutativo integrato del LEGEP è basato sulla suddivisione dell'organismo edilizio nelle sue varie componenti costruttive, designate "elementi funzionali", partendo dal computo metrico dell'edificio.

Per "elemento funzionale" si intende una soluzione tecnica di elemento costruttivo completo, capace di rispondere a specifiche prestazioni d'uso (ad esempio, 1 m<sup>2</sup> di solaio completo comprende: struttura portante, finiture all'intradosso e finiture all'estradosso).

La valutazione è organizzata gerarchicamente partendo dal basso, cioè dalle banche-dati LCI (Life Cycle Inventory). Si passa, quindi, dai dati caratteristici dei materiali (dati tecnici e fisici) alla descrizione delle lavorazioni e dei costi, agli "elementi semplici", agli "elementi composti", quali ad esempio le finestre, fino ai "macro-elementi", quale ad esempio un sistema completo di copertura.

Occorre evidenziare che il sistema di classificazione degli elementi e dei dati di inventario LCI ad essi riferiti, è legato, nel LEGEP, al contesto tedesco, nell'ambito del quale il programma stesso è stato sviluppato ed è utilizzato.

Ai fini della ricerca in esame, quindi, ci si è avvalsi della collaborazione dell'Arch. Holger König della Ascona (DE) e dell'Ing. Lisa De Cristofaro, per introdurre elementi di adeguamento del LEGEP al contesto italiano. In tal senso, la ricerca ANDIL-TAeD è risultata anche utile per implementare una fase di tale applicazione, relativa a prodotti e tecnologie del laterizio, con l'introduzione nelle banche dati di parametri caratteristici del contesto italiano, in termini di costi e di impatti

connessi ai vari processi del ciclo di vita.

È stata effettuata, infine, una verifica di confronto fra la stima del fabbisogno energetico degli edifici, oggetto dello studio, con i metodi utilizzati nel programma LEGEP sulla base della normativa tedesca e secondo i criteri contenuti nella vigente normativa nazionale, segnatamente il recente D.Lgs. 311 del 29 dicembre 2006.

Sulla base dei dati di inventario così implementati, è stata effettuata una valutazione a fini comparativi sull'edificio oggetto di studio, in un determinato contesto climatico, ipotizzando due soluzioni alternative sotto il profilo delle tecnologie edilizie: (A) telaio in c.a. con tamponamenti in muratura "stratificata" e (B) muratura portante in blocchi "a spessore".

### Ipotesi e condizioni del caso studio

**I.** I due edifici - (A) telaio in c.a. con tamponamenti in muratura e (B) muratura portante - hanno tutte le altre opere uguali, in particolare fondazioni, coperture con manto in laterizio e solaio in latero-cemento, e opere secondarie (infissi, divisori non portanti, ecc.), di finitura (rivestimenti, pavimentazioni, ecc.) e impiantistiche (per quest'ultime si è considerato un impianto di riscaldamento di tipo tradizionale a gas).

**II.** Ai fini della valutazione comparativa, sono state utilizzate tre categorie di parametri articolati in:

1. *Costi.* Costi di costruzione, costi di esercizio per consumi energetici, costi per manutenzione ordinaria, costi per pulizia, costi per manutenzione straordinaria.
2. *Fabbisogno energetico di esercizio.* Fabbisogno di energia finale ed energia primaria per settore di impiego (illuminazione, riscaldamento ambienti, riscaldamento acqua ad usi igienico-sanitari, funzionamento apparecchiature).
3. *Ambiente.* Flusso di materie ed energia nei processi di produzione e costruzione delle soluzioni tecniche, flusso di materie ed energia per le fasi di esercizio, manutenzione e dismissione dell'edificio e delle sue parti, impatto ambientale per le fasi di produzione-costruzione e di manutenzione delle soluzioni tecniche, impatto ambientale per le fasi di esercizio in relazione al fabbisogno energetico degli edifici.

**III.** Per i costi di costruzione sono stati utilizzati i dati del computo metrico estimativo applicati al caso studio con riferimento ad un prezzo italiano e, parimenti, per i costi di interventi di manutenzione straordinaria, valutati su cicli da 5 a 80 anni secondo il tipo di intervento e per i costi della manutenzione ordinaria valutati su cicli da 6 mesi a 3 anni. I costi per pulizia sono stati definiti per interventi con frequenze da giornalieri a annuali e per costi orari di imprese di pulizia. I costi per consumi energetici sono riferiti al costo dei consumi derivanti dal fabbisogno energetico in base alla verifica termica solo in periodo invernale dell'edificio oggetto di studio nel contesto in esame. I prezzi unitari per le valutazioni riferite ai consumi energetici e alle operazioni di pulizia fanno riferimento al contesto tedesco: le risultanze dell'analisi vanno quindi lette per queste voci prevalentemente in senso comparativo fra le due soluzioni assunte quale caso studio.

**IV.** Per il calcolo del fabbisogno energetico di esercizio riferito solo al riscaldamento dell'edificio si è fatto riferimento alla normativa nazionale vigente. Le soluzioni di involucro presentano livelli di trasmittanza termica conformi alle disposizioni del D.Lgs. 311/2006. Il fabbisogno per illuminazione e acqua calda è stato calcolato su basi statistiche per un nucleo familiare medio.

**V.** Per le valutazioni ambientali, il LEGEP permette di elaborare, secondo i metodi di valutazione oggi utilizzati, diversi indicatori di impatto, in base agli output dell'analisi.

**VI.** L'analisi ambientale, effettuata con il metodo CML, è espressa secondo quattro indicatori di impatto<sup>(5)</sup>:

1. cambiamento climatico/effetto serra, valutato in termini di kg di CO<sub>2</sub> equivalente;
2. consumo di energia primaria rinnovabile, valutato in MJ;
3. consumo di energia primaria non rinnovabile, valutato in MJ;
4. acidificazione atmosferica, valutata in termini di kg di SO<sub>2</sub> equivalente.

Inoltre è indicata, quale riferimento utile per l'analisi ambientale, la massa in kg di materia utilizzata per la realizzazione dell'edificio e per interventi di manutenzione.

### Il caso studio: edificio residenziale in telaio in c.a. e tamponamento murario

L'edificio oggetto di studio [fig. 3], analizzato nelle due tecnologie costruttive - muratura portante (B) - telaio in calcestruzzo armato e tamponamenti in muratura (A), è una residenza unifamiliare, localizzata in zona climatica D, sviluppata su due livelli fuori terra ed un sottotetto (oltre all'edificio qui presentato, sono state indagate anche soluzioni integrative, quale ad esempio la presenza di un piano interrato).

La tipologia di edificio (A) prevede l'utilizzo di un'intelaiatura in calcestruzzo armato con maglia strutturale di circa 3 m di interasse e tamponatura esterna in muratura multistrato di 38 cm di spessore. La parete multistrato è costituita da due elementi di laterizio (rispettivamente, semipieno da 12 e forato da 8 cm), uno strato di materiale isolante (8 cm), intercapedine d'aria e intonaco esterno-interno.

La tipologia (B) considera, invece, un sistema strutturale in blocchi di laterizio alleggerito in pasta di 38 cm, intonacati su entrambi i lati, per complessivi 42 cm di spessore [fig. 4].

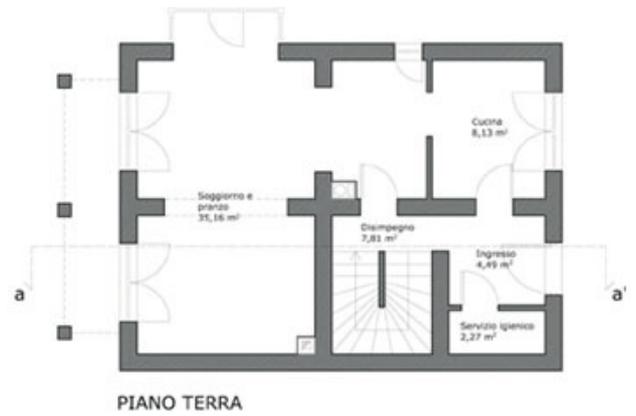
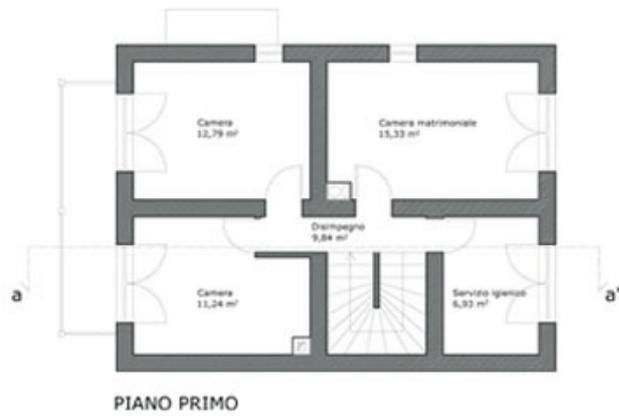
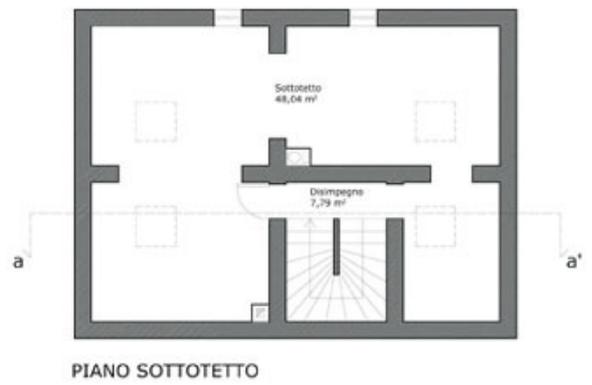
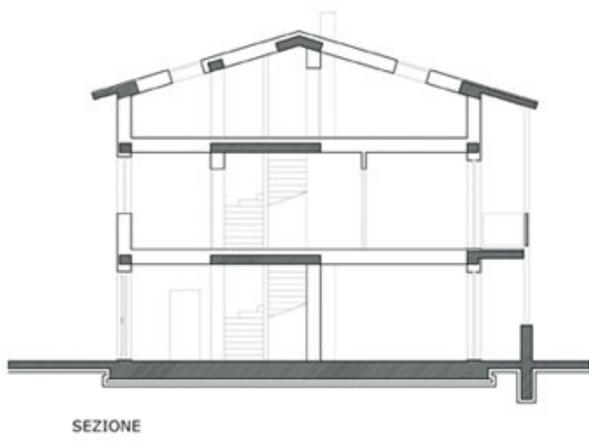
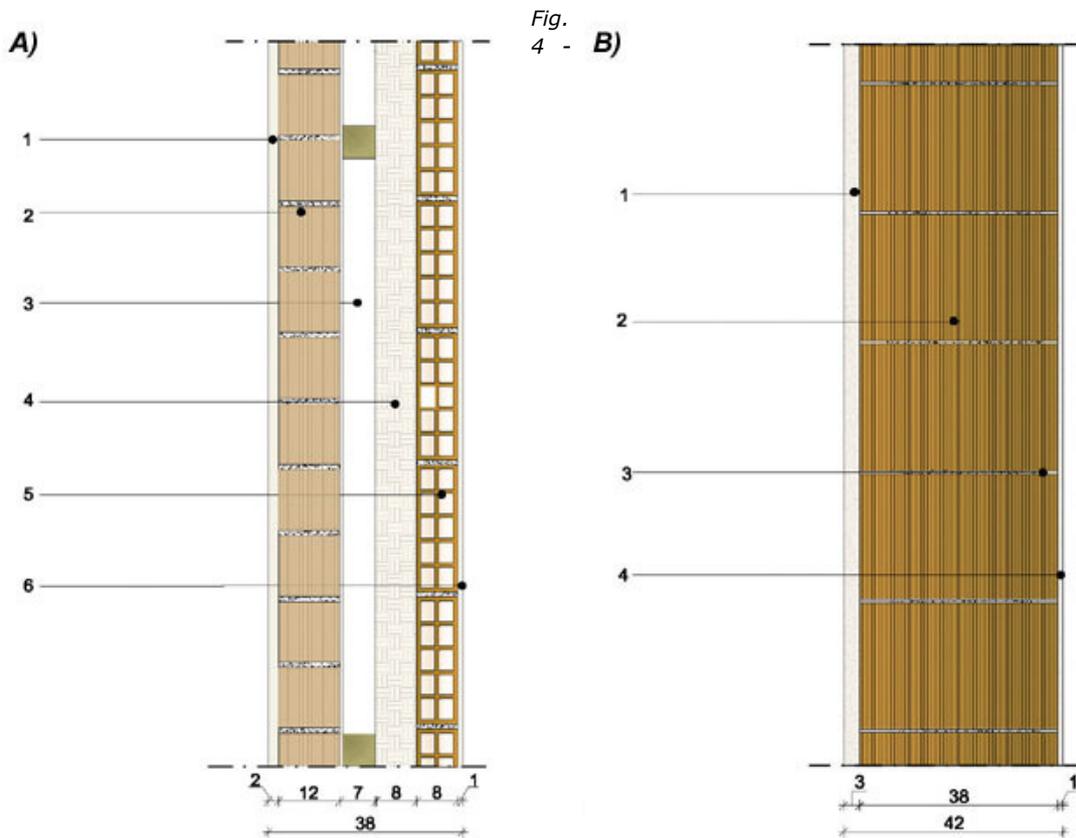


Fig. 3 - Sezione e piante dell'edificio oggetto di studio.



(A) Parete doppia in laterizio con intercapedine isolata (massa superficiale 236 kg/m<sup>2</sup>).

(B) Muratura portante in laterizio alleggerito in pasta (massa superficiale 333,4 kg/m<sup>2</sup>).

**LEGENDA:**

1. intonaco esterno e tinteggiatura
2. laterizio semipieno 12x12x25 cm
3. intercapedine d'aria
4. isolante termo-acustico in fibra di legno
5. forato in laterizio 8 cm
6. intonaco interno e tinteggiatura

**LEGENDA:**

1. intonaco esterno termocoibente e tinteggiatura
2. blocchi in laterizio 38 cm
3. malta cementizia
4. intonaco interno e tinteggiatura

Soluzioni di involucro per le due tipologie di edificio oggetto di studio (misure in cm).

Oltre al confronto tra i due edifici tipo, sono state considerate delle varianti nelle soluzioni tecnologiche prese in esame al fine di valutare possibili riduzioni dei consumi energetici e degli impatti ambientali complessivi della costruzione. Per la valutazione prestazionale dell'efficienza energetica è stato calcolato il "fabbisogno di energia primaria" di entrambe le tipologie, limitatamente ai consumi per la climatizzazione invernale. Gli edifici analizzati raggiungono rispettivamente i valori di 68 kWh/m<sup>2</sup>a (intelaiatura in calcestruzzo armato e tamponamento in muratura di laterizio) e di 65 kWh/m<sup>2</sup>a (muratura portante).

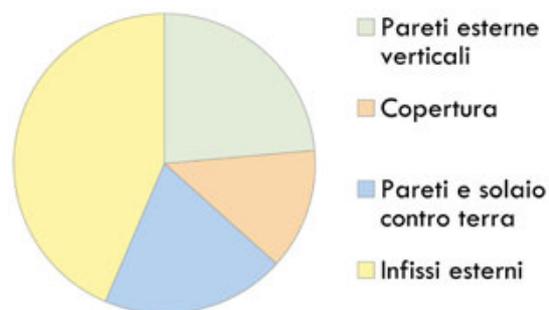


Fig. 5 - Perdite di calore per trasmissione, indicate in percentuale e per le diverse parti costruttive nell'edificio di studio nel caso di piano interrato e struttura in cemento armato e tamponamenti in muratura di laterizio (soluzione A).

Entrambe le tipologie risultano, quindi, conformi alla normativa nazionale, laddove il valore limite del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'edificio residenziale preso in esame (zona climatica D e fattore di forma - rapporto tra superficie dell'involucro disperdente e volume riscaldato - S/V di 0,6) è pari a 71,73 kWh/m<sup>2</sup>a.

È necessario sottolineare che l'esclusione dei consumi estivi nella valutazione svolta, e quindi della diversa incidenza della capacità termica dei due involucri posti a confronto ai fini del risparmio energetico, penalizza sicuramente la soluzione maggiormente massiva (muratura portante, soluzione B) e quindi più performante sotto il profilo dei consumi.

**Risultati**

L'analisi integrata costi-ambiente (LCC-LCA) applicata all'edificio oggetto di studio nelle due alternative tecnologiche - struttura in cemento armato a telaio con tamponamenti multistrato [fig. 4A] e struttura portante in muratura monostrato

[fig. 4B] - ha evidenziato come, a fronte di costi molto simili per le opere di costruzione, la soluzione (B) in muratura monostrato risulta meno onerosa quanto a costi di manutenzione [fig. 6].

È opportuno precisare che le due soluzioni mostrano costi di costruzione molto simili per effetto dell'elevata incidenza dei costi degli impianti, che rende meno evidenti le differenze tra le due soluzioni. Al netto dei costi degli impianti e delle opere secondarie, infatti, la costruzione in muratura monostrato (B) risulta più economica di quella intelaiata con tamponamento a doppio strato (A), caratterizzata da un costo superiore del 16% (cfr. Murature Oggi n. 91 - Giugno 2006 - "Costo globale di soluzioni tecniche di involucro").

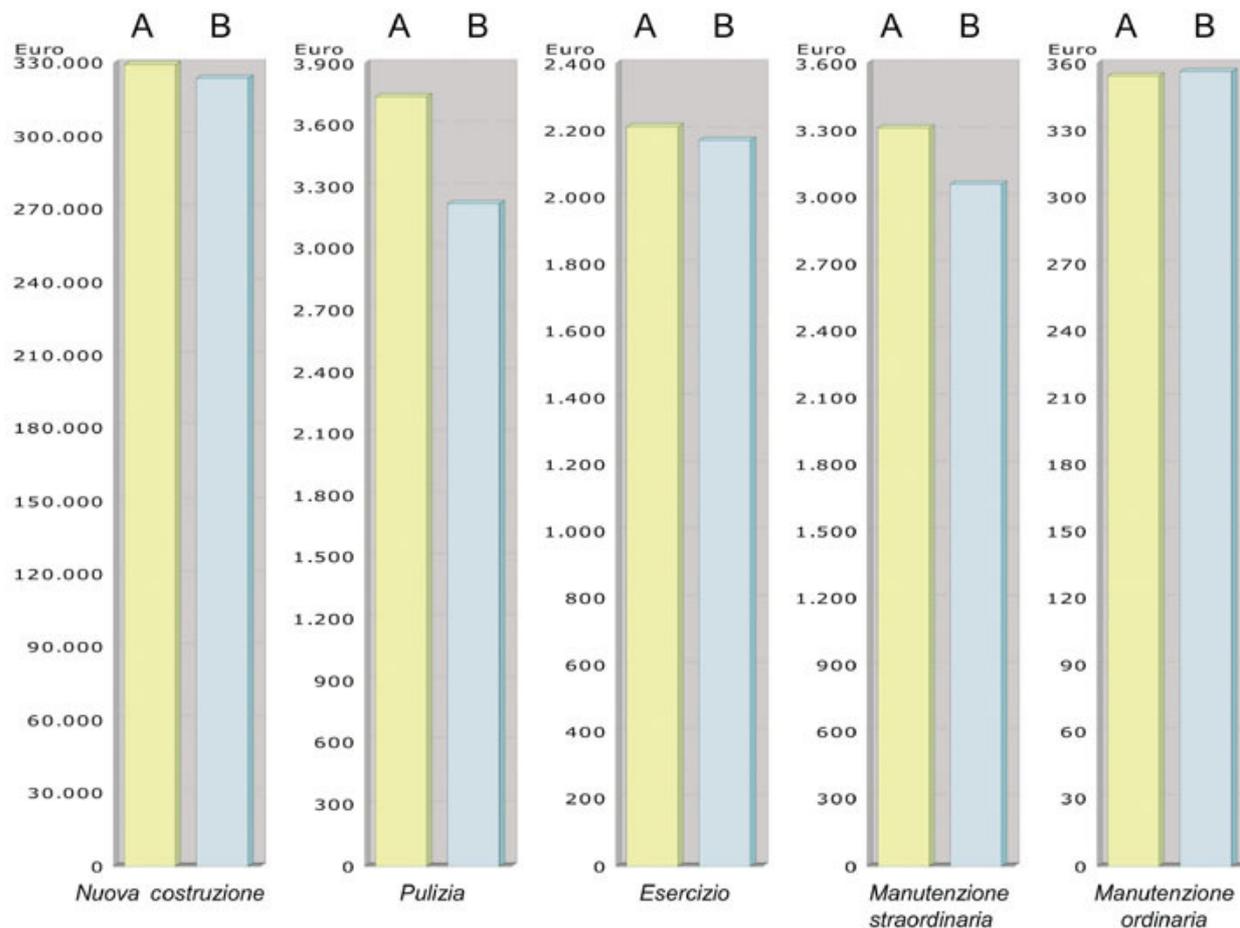
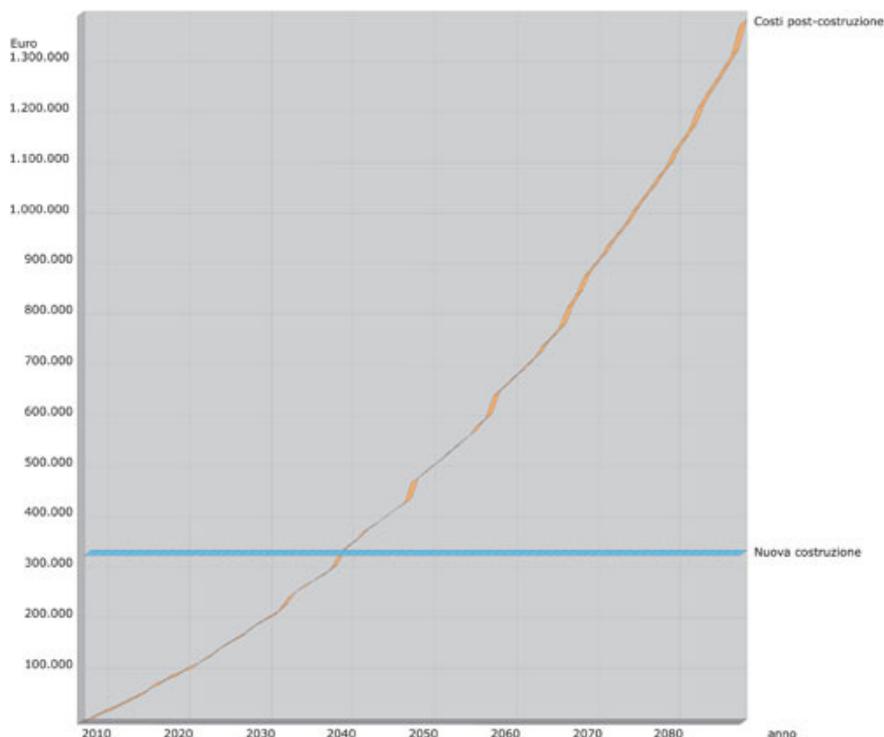


Fig. 6 - Costi del ciclo di vita: costi di costruzione e costi in uso su base annua fra le due alternative esaminate (A - soluzione a telaio e tamponamenti in muratura e B - muratura portante). La voce "nuova costruzione" comprende anche i costi degli impianti. La costruzione in muratura monostrato (B) risulta più economica di quella intelaiata con tamponamento a doppio strato (A), con un risparmio sui costi di costruzione del 2% e sui costi di manutenzione straordinaria dell'8%.

I costi post-costruzione, comprensivi della manutenzione ordinaria e straordinaria, della pulizia e dell'esercizio degli impianti, esaminati nel tempo, raggiungono quelli di costruzione dell'edificio dopo circa 30 anni nella soluzione (A) a telaio in c.a. e dopo circa 35 anni nella soluzione (B) in muratura portante [fig. 7].



I costi di esercizio incidono fra il 35 e il 40% sui costi post-costruzione dell'edificio esaminato, a seconda della soluzione tecnica. Essi sono da attribuire in ogni caso per circa il 50% al riscaldamento invernale degli ambienti e quindi alla qualità delle soluzioni di involucro e al loro sviluppo superficiale.

Nel caso studio, l'alternativa che presenta più alti costi di esercizio è risultata essere quella con telaio in c.a. (A) e con un piano interrato.

L'analisi ambientale del ciclo di vita, espressa attraverso tutti o alcuni degli indicatori in precedenza enunciati, e la quantificazione delle risorse impiegate nella costruzione e manutenzione dell'edificio evidenziano la migliore prestazione della soluzione (B) in muratura portante [fig. 8].

Fig. 7 - Costi del ciclo di vita a confronto (costi post-costruzione: costi di manutenzione, pulizia ed esercizio) nel caso "muratura portante" (B): considerando un incremento annuo dei costi energetici del 3%, il punto di pareggio tra i costi di post-costruzione e quelli di nuova costruzione è prevedibile dopo circa 35 anni.

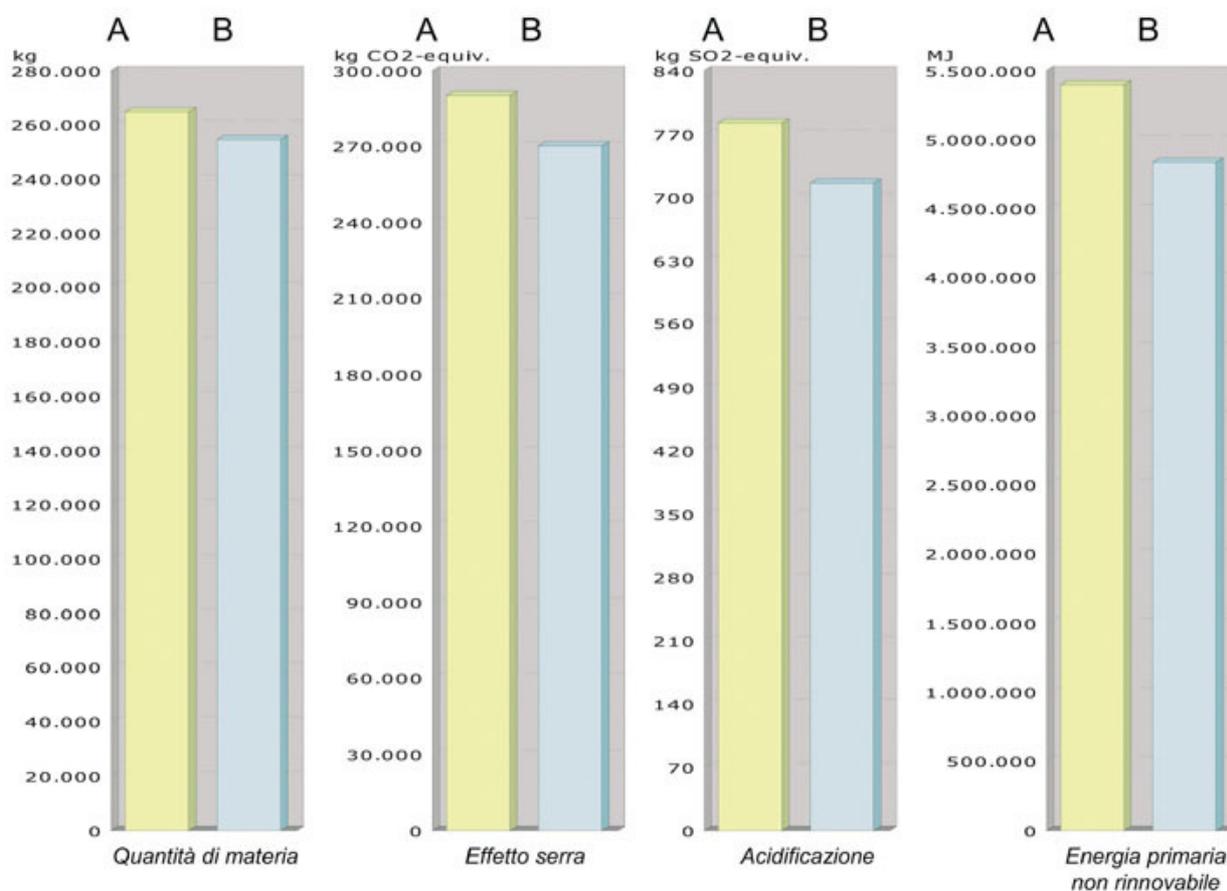


Fig. 8 - Impatto ambientale riferito all'intero ciclo di vita: confronto tra l'edificio a telaio in c.a. (A) e in muratura portante (B), caso senza piano interrato. La valutazione non ha considerato in fase d'uso la climatizzazione estiva, penalizzando in tal senso la soluzione maggiormente massiva (muratura portante B).

Nel confronto con gli stessi indicatori applicati alla fase di produzione e costruzione dell'edificio, è interessante rilevare come la soluzione in muratura portante, che nel ciclo di vita risulta a più basso impatto, presenti invece in fase di produzione e costruzione una incidenza maggiore in termini di effetto serra e acidificazione, attribuibile al maggiore

impatto in fase di produzione degli elementi in laterizio strutturali, mantenendosi invece a valori più bassi quanto a energia primaria non rinnovabile utilizzata, in relazione al minore impiego di calcestruzzo [fig. 9].

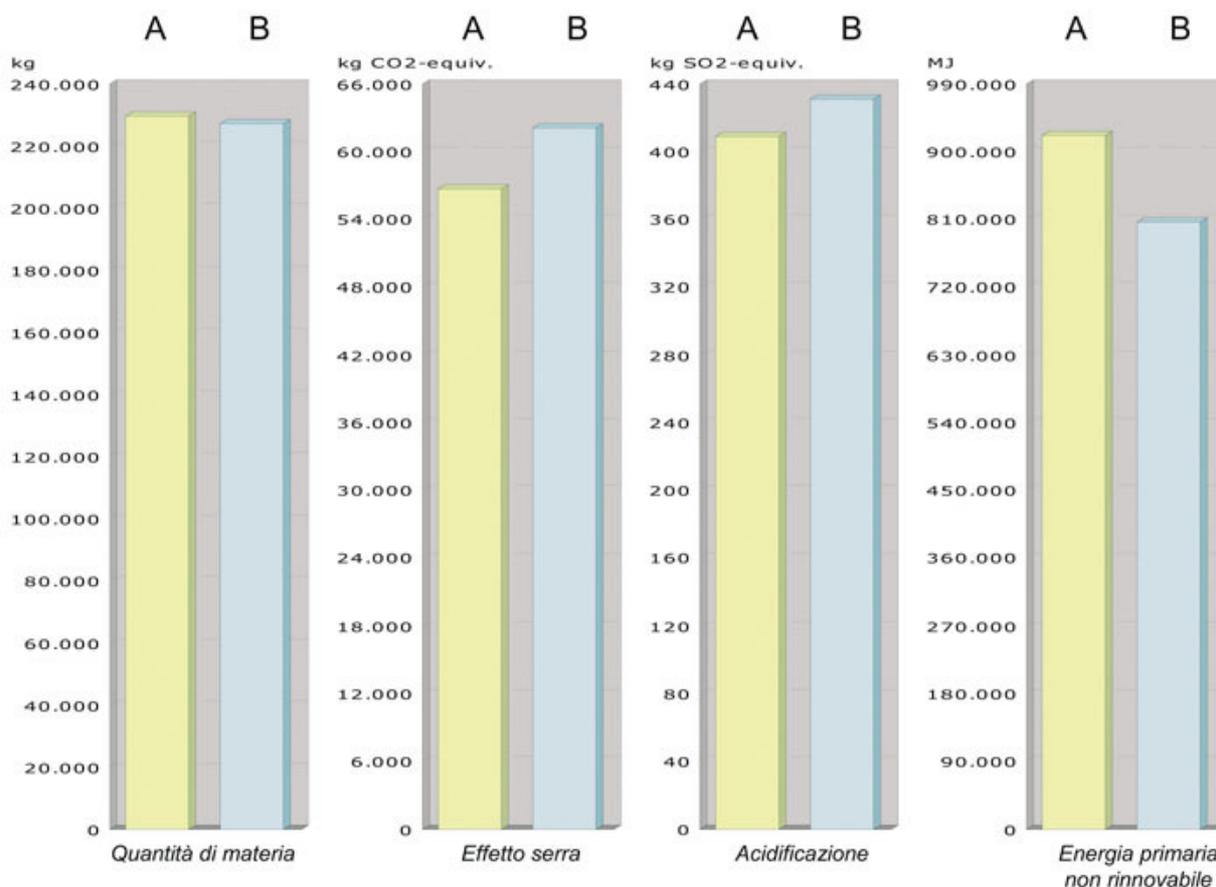
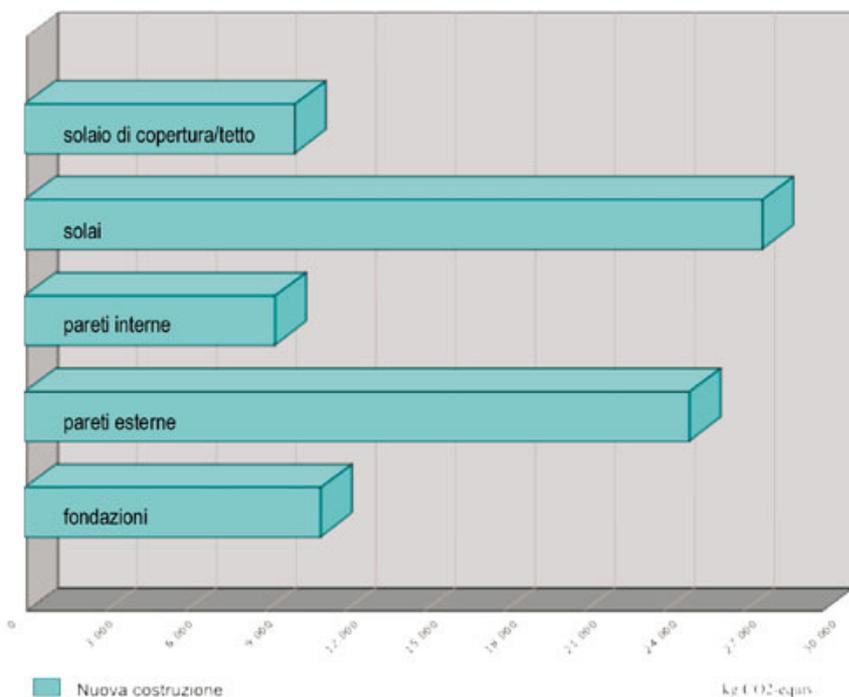


Fig. 9 - Impatto ambientale riferito alla fase di produzione dei materiali e di costruzione: confronto tra l'edificio a telaio in c.a. (A) e in muratura portante (B), caso senza piano interrato.



È interessante valutare il contributo all'effetto serra potenziale (CO<sub>2</sub> eq.) da parte delle singole categorie di elementi costruttivi presi in considerazione.

Con riferimento alla fase di produzione e costruzione della tipologia (B) di edificio in muratura strutturale, la fig. 10 evidenzia l'incidenza dei solai e delle murature portanti.

Infine, il peso relativo delle diverse fasi del ciclo di vita sugli indicatori ambientali è documentato in fig. 11, sempre con riferimento al caso di edificio in muratura portante (B), da cui si evince l'importanza della fase di esercizio, in particolare sull'effetto serra potenziale e sull'uso di energia, e di quella di produzione e costruzione sulla acidificazione (SO<sub>2</sub> eq.).

Fig. 10 - Edificio in muratura portante (B), caso con piano interrato. Effetto serra potenziale: contributo delle singole categorie di elementi costruttivi relativamente alle fasi di produzione e di costruzione.

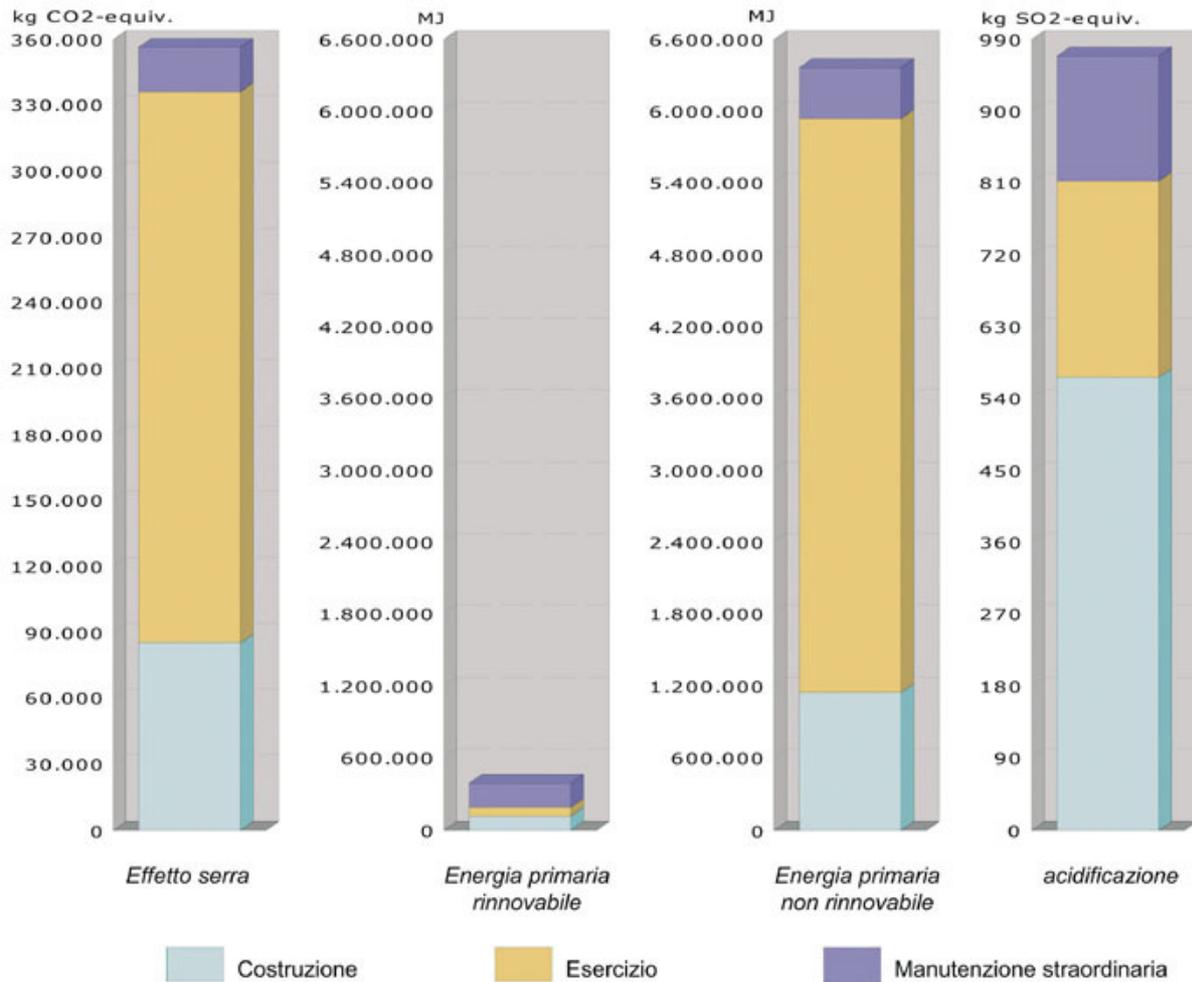


Fig. 11 - Edificio in muratura portante (B), caso con piano interrato. Valutazione dell'impatto ambientale distinta per criteri (effetto serra, energia primaria rinnovabile, energia primaria non rinnovabile, acidificazione) e per fasi.

Con particolare riferimento alla tipologia di edificio (A) a telaio in c.a., si evidenziano ulteriori indicazioni derivanti dall'applicazione dell'analisi integrata LCC-LCA.

A tale proposito, sono stati valutati alcuni casi alternativi di realizzazione dei tamponamenti multistrato in laterizio, e più precisamente:

1. pareti intonacate o in muratura faccia a vista;
2. impiego di diversi tipi di isolante.

Nel merito, la simulazione ha evidenziato come, a fronte di un costo iniziale maggiore delle soluzioni in laterizio "faccia a vista", gli oneri di manutenzione si riducano notevolmente nell'arco della vita utile.

La minore necessità di opere manutentive determina anche un minore impatto ambientale complessivo, in relazione all'intero ciclo di vita [fig. 12].

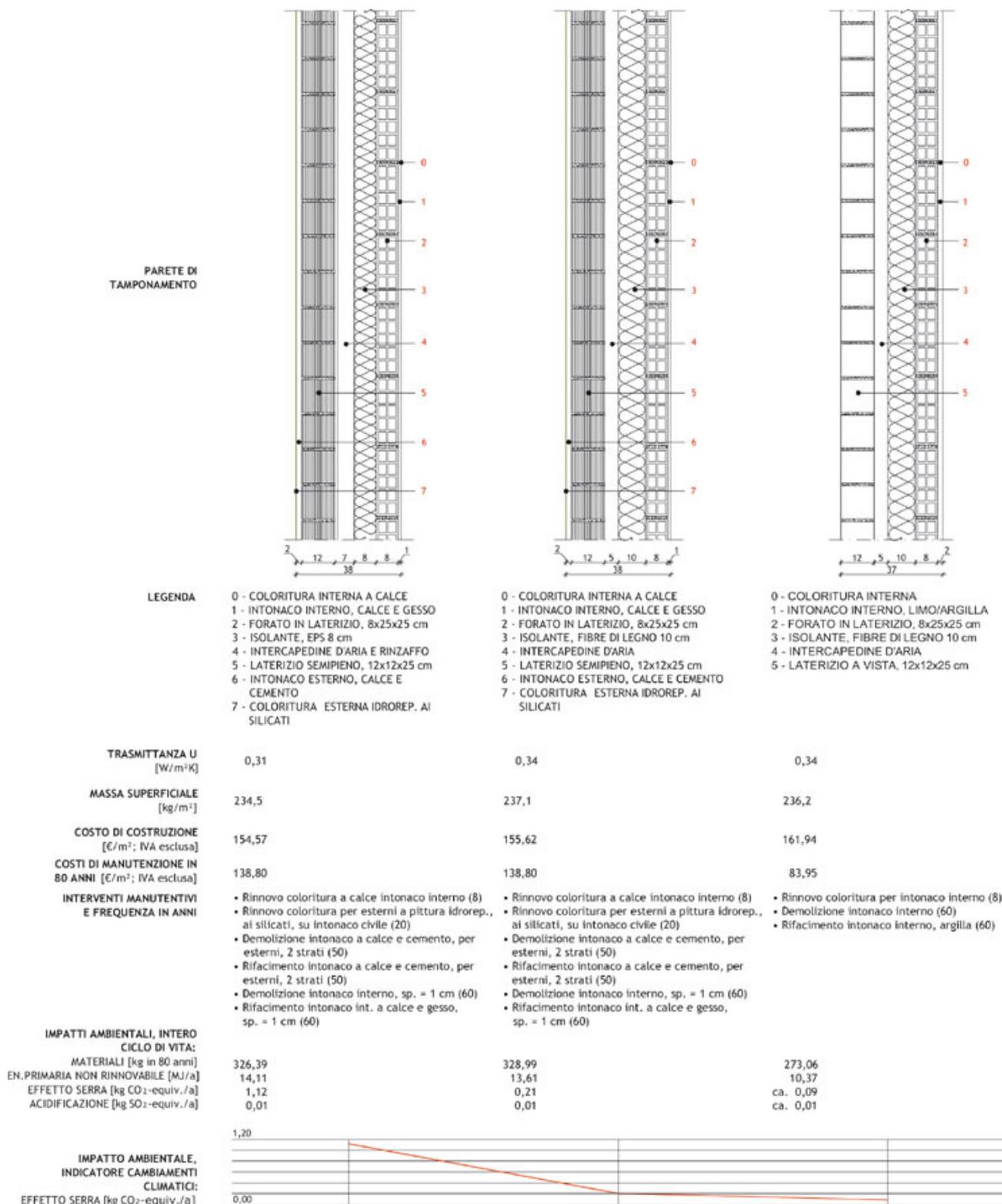


Fig. 12 - Analisi LCA-LCC: ipotesi a confronto tra soluzioni di pareti di tamponamento multistrato in laterizio (misure in cm).

## Conclusioni

Nelle ipotesi di studio, la valutazione integrata ambiente, energia e costi, nel ciclo di vita di un edificio, fornisce risultanze a favore della muratura portante rispetto alla soluzione con telaio in c.a..

Per quest'ultima soluzione, l'analisi complessiva del ciclo di vita determina valutazioni migliori, nonostante un costo iniziale maggiore, per i sistemi di tamponamento con rivestimento in "faccia a vista".

Lo studio, nel mettere a confronto diverse soluzioni di involucro in laterizio, attraverso la quantificazione degli impatti ambientali attribuibili al ciclo di vita dell'intero edificio, ha evidenziato come la riduzione dei consumi energetici e degli impatti ambientali complessivi delle costruzioni possa essere perseguita, oltre che attraverso il contenimento delle dispersioni termiche delle chiusure, anche con un'attenta progettazione manutentiva.

La progettazione della manutenzione condiziona, infatti, non soltanto la funzionalità, le caratteristiche di "qualità", l'efficienza ed il valore economico del bene edilizio ma, in una visione di "ciclo di vita", influenza anche l'entità dell'impatto ambientale dell'edificio durante la sua vita utile.

Le normative internazionali in materia, sviluppate con finalità e tempi distinti, coinvolgono in modo particolare le attività

post-costruzione (manutenzione, sostituzione, riparazione, pulizia ed esercizio, ma anche demolizione, smaltimento, recupero e riciclo) nella definizione non solo dei flussi monetari (Life Cycle Cost) ma anche dei flussi di materia ed energia, tra tecnosfera ed ambiente (Life Cycle Assessment), in una prospettiva temporale (almeno 80 anni) che diventa fortemente caratterizzante il progetto dei materiali e dei componenti.

In tale ambito, l'uso di strumenti informatici integrati e l'analisi ed il controllo in fase progettuale delle ricadute ambientali degli interventi manutentivi possono diventare criterio di scelta per la stesura di scenari ecologici alternativi, a lungo termine.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia ANDIL Assolaterizi per aver autorizzato la pubblicazione del presente articolo.

### **Note**

1. Ricerca LCA LATERIZIO: analisi del ciclo di vita di prodotti e sistemi in laterizio, Convenzione Università degli Studi di Firenze, Dip. Tecnologie dell'Architettura e Design "PL. Spadolini" - Andil Assolaterizi. Responsabile: prof.ssa M. Chiara Torricelli; gruppo di ricerca: Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo, Alain Lusardi, Adolfo Baratta, Claudio Piferi, Nicoletta Setola; Partner esterni: Lisa De Cristofaro (Università Federico II di Napoli), Ing. Paolo Neri (Enea Bologna). Lisa De Cristofaro è dottoranda in "Metodi di valutazione per la conservazione integrata del patrimonio architettonico, urbano e ambientale" presso l'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (tutor Prof. Luigi Fusco Girard).
2. Si citano alcune delle importanti ricerche sviluppate in quest'ultimi anni: a) Il rapporto finale del WP2 del progetto europeo Presco "Inter-comparision and benchmarking of LCA-based environmental assesement and design tools" (febbraio 2005); b) il rapporto dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) svolto nell'ambito dei lavori Annex 31 "Energy conservation in buildings and community systems programme": "Comparative applications - a comparison of different tools results on similar residential and commercial building" (ottobre 2001); c) il rapporto finale n.2 del progetto Regener "The integration of Environmental Assessment in the Building Design Process. Development of a design toolbox, environmental impacts of Buildings, EU, DGXII, Programma APAS" (gennaio 1997); d) Nibel, S., Riahle, A. (1999), "Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments - Mise en oeuvre et comparaison", IED - CSTB, PUCA, Collection Recherches, n° 110, Parigi; e) Duchene-Marullaz, Ph., Nibel, S., Le Quintec, L., Chatagnon, N. (1998), "Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments: contexte, problématique et revue des approches méthodologiques existantes", Collection "Recherche" n. 83, PUCA Editions.
3. Ing. Paolo Neri, centro di ricerca ENEA PROT-INN, Bologna.
4. LEGOE (Lebenszyklus von Gebaude unter oekologischen Gesichtspunkten) è la denominazione originale, mentre LEGEP (Lebenszyklus-Gebäude-Planung = ciclo di vita-edificio-progetto) è la nuova denominazione del programma. Per ulteriori informazioni: [www.legep.de](http://www.legep.de).
5. Per la comparazione degli impatti ambientali è stato utilizzato il metodo di valutazione ed aggregazione CML, sviluppato dal Centro Scienze Ambientali dell'Università di Leiden, Olanda.