

# RICERCA SULLA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI SISTEMI COSTRUTTIVI MINERALI YTONG E MULTIPOR

Sostenibilità in edilizia - Soluzioni tecniche a confronto

a cura di A. Campioli, M. Lavagna, M. Paleari



**COSTRUIRE IL FUTURO, RIQUALIFICARE L'ESISTENTE**

**multipor**<sup>®</sup>

**YTONG**<sup>®</sup>



## L'INTELLIGENZA È IL MIGLIOR MATERIALE PER COSTRUIRE

Costruire in modo intelligente garantisce un futuro sostenibile.

YTONG è un marchio tedesco del gruppo Xella International, leader in Europa nel settore di materiali per l'edilizia e nel mondo con il marchio YTONG nel mercato del calcestruzzo aerato autoclavato (AAC).

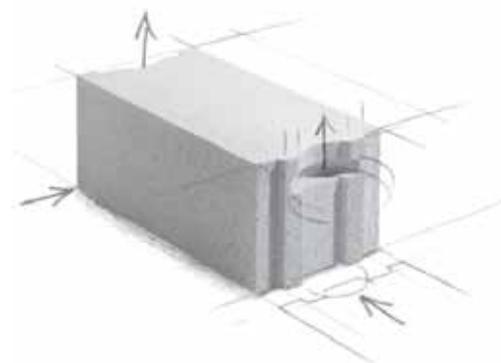
Il nome deriva dalla fusione di "Yxhult" (nome del luogo in cui è stato inventato) e di "betong" (calcestruzzo in svedese).

Il sistema di costruzione YTONG ha oltre 80 anni di storia ed è costituito da un'ampia gamma di blocchi per divisori e murature, pannelli isolanti e lastre autoportanti per la realizzazione di solai e coperture.

Oggi YTONG conta nel mondo oltre 50 stabilimenti dislocati in Europa, Asia ed Americhe e dal 2012 è attivo in Italia lo stabilimento produttivo di Pontenure, a Piacenza.

**ERAVAMO GIÀ EFFICIENTI  
ENERGETICAMENTE PRIMA  
CHE QUALCUNO INVENTASSE  
QUESTA ESPRESSIONE**

Il calcestruzzo aerato autoclavato YTONG, detto anche calcestruzzo cellulare, è stato brevettato nel 1923 dal Dr. Axel Eriksson, architetto svedese che, a causa di una crisi energetica legata alla scarsità del legno, ricercava un materiale da costruzione che presentasse i pregi del legno - isolamento, solidità e lavorabilità - ma non le sue criticità - combustibilità e necessità di manutenzione. YTONG risponde perfettamente a tali esigenze: il calcestruzzo cellulare è solido, isolante, facile da lavorare, incombustibile, durevole ed ecologico. Grazie alla **struttura caratteristica che comprende milioni di minuscoli pori, i prodotti YTONG offrono solidità con un peso contenuto**. Poiché l'aria ha una bassa conducibilità termica, il calcestruzzo cellulare



fornisce un ottimo isolamento termico: protegge dal freddo e dal caldo, permettendo di realizzare pareti monostrato con conseguente risparmio di spazi e costi.

Acqua, sabbia, calce e cemento sono le materie prime naturali che rendono il blocco YTONG simile alla Tobermorite, una pietra naturale; queste vengono miscelate con un agente aerante e fatte indurire in autoclave a vapore: ne nasce un prodotto **rispettoso dell'ambiente**, dal peso leggero e allo stesso tempo forte in termini di capacità portante.

# INTRODUZIONE

In questo documento è riportata una sintesi dei risultati dell'attività di **ricerca condotta presso il Dipartimento ABC (Architecture, Built Environment and Construction Engineering) del Politecnico di Milano da Andrea Campioli, Monica Lavagna e Michele Paleari**, sul tema della caratterizzazione ambientale dei sistemi costruttivi Ytong e Multipor prodotti dal gruppo Xella.

La ricerca si propone di fornire a progettisti e operatori del settore edilizio un documento di orientamento progettuale e di supporto informativo per quanto riguarda la scelta della soluzione tecnica da adottare, in una prospettiva di sostenibilità ambientale. In tal senso, la ricerca intende ampliare il bagaglio conoscitivo degli operatori del settore edilizio sui materiali e i sistemi costruttivi, già consolidato sul fronte delle prestazioni tecniche (termiche, acustiche, etc.) e delle implica-

zioni economiche, agli aspetti relativi all'efficienza ambientale.

Su questo fronte l'attenzione oggi è concentrata sulla riduzione dei consumi di energia e delle emissioni di CO<sub>2</sub> nella fase d'uso degli edifici mentre spesso vengono trascurati gli impatti legati alla produzione dei materiali utilizzati per la loro costruzione. Con l'obiettivo di colmare questa lacuna il documento illustra l'utilità dei dati ambientali LCA (*Life Cycle Assessment*) ai fini di orientare le scelte di progetto e di individuare soluzioni costruttive caratterizzate da una elevata efficienza ambientale nella fase di produzione e propone alcune esemplificazioni di come impostare correttamente l'uso dei dati ambientali LCA nelle comparazioni tra soluzioni alternative.

La ricerca intende offrire un quadro informativo chiaro e scientificamente fondato delle caratteri-

stiche di sostenibilità ambientale relative al prodotto. In particolare la ricerca illustra la valutazione ambientale di diverse soluzioni tecniche in calcestruzzo aerato autoclavato (*Autoclaved Aerated Concrete*) con un duplice obiettivo: da un lato quello di orientare all'uso degli indicatori sintetici quantitativi resi disponibili dalle EPD (*Environmental Product Declaration*) dei prodotti Xella elaborate in Germania per la valutazione del comportamento ambientale dei sistemi costruttivi Ytong e Multipor; dall'altro quello di comparare le prestazioni ambientali di diverse soluzioni tecniche di involucro (portante e non portante), a parità di prestazione termica (unità funzionale), tramite l'uso di dati LCA assunti dalle dichiarazioni EPD tedesche dei prodotti Xella e dalla banca dati Ecoinvent 2.2 (elaborati con SimaPro 7.3.2 e i metodi EPD2008 e Cumulative Energy Demand).

# INDICE

<b>1. LA VALUTAZIONE AMBIENTALE DEGLI EDIFICI E L'ECOLOGICITÀ DEI PRODOTTI EDILIZI .....</b>	<b>5</b>
1.1. Come misurare l'ecologicità di un edificio.....	5
1.2. Come misurare l'ecologicità di un prodotto edilizio.....	9
1.3. Che cos'è una valutazione LCA.....	9
1.4. Specificità di applicazione del metodo LCA in edilizia .....	12
1.5. Il ruolo della durata nella valutazione LCA degli edifici.....	13
1.6. Che cos'è un EPD.....	15
<b>2. SCELTE PROGETTUALI VERSO LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE.....</b>	<b>19</b>
2.1. Come utilizzare i dati di un LCA o di un EPD nel progetto.....	19
2.2. Esempi di valutazioni comparative a parità di prestazioni.....	22
<b>3. ECOPROFILO LCA DI SOLUZIONI COSTRUTTIVE DI INVOLUCRO</b>	
<b>IN CALCESTRUZZO AERATO AUTOCLAVATO .....</b>	<b>24</b>
3.1. EPD Ytong e Multipor.....	24
3.2. Ecoprofilo LCA di soluzioni costruttive di involucro in calcestruzzo aerato autoclavato.....	26
<b>4. VALUTAZIONE COMPARATIVA LCA CON SOLUZIONI COSTRUTTIVE CONVENZIONALI .....</b>	<b>27</b>
4.1. Confronto LCA tra soluzioni costruttive alternative di chiusura verticale con trasmittanza termica 0,27 W/m <sup>2</sup> K e 0,18 W/m <sup>2</sup> K.....	31
4.2. Confronto LCA tra soluzioni costruttive alternative di chiusura verticale portante con trasmittanza termica 0,27 W/m <sup>2</sup> K e 0,18 W/m <sup>2</sup> K.....	34
4.3. Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico per chiusura verticale portante con trasmittanza termica 0,25 W/m <sup>2</sup> K.....	37

# 1. LA VALUTAZIONE AMBIENTALE DEGLI EDIFICI E L'ECOLOGICITÀ DEI PRODOTTI EDILIZI

Il mondo della progettazione è oggi assillato dal problema dell'individuazione di criteri di valutazione chiari, affidabili e allo stesso tempo di facile impiego, attraverso i quali orientare la scelta dei materiali e delle soluzioni tecnico-costruttive, al fine di progettare e costruire edifici ecologici o ambientalmente sostenibili. In risposta a questa necessità si stanno delineando numerose indicazioni spesso in concorrenza, quando non in conflitto, tra loro.

Un primo ordine di indicazioni proviene dai criteri ambientali premiali (es. contenuto di riciclaggio, reperibilità locale) contenuti negli strumenti di valutazione multicriterio a punteggio per la certificazione ambientale degli edifici (es. LEED), nati in ambito volontario e promossi dal mercato.

Un secondo ordine di indicazioni proviene dalla valutazione ambientale del ciclo di vita LCA (*Life*

*Cycle Assessment*), che permette di comprendere se una scelta tecnico-costruttiva o materica consente effettivamente di ridurre gli impatti ambientali avendo come orizzonte di riferimento l'intero ciclo di vita di un prodotto. La valutazione LCA viene attualmente promossa all'interno delle politiche, delle strategie e delle normative ambientali europee.

Questi due approcci alla valutazione ambientale connotano sia la definizione dell'ecologicità dell'edificio sia la definizione dell'ecologicità dei prodotti edilizi.

## 1.1. COME MISURARE L'ECOLOGICITÀ DI UN EDIFICIO

Superata la pressione esercitata dall'entrata in vigore della normativa sull'efficienza energetica degli edifici, l'interesse del mercato e degli operatori sta già andando oltre, spostandosi verso la loro valutazione ambientale. Quest'ultima non può essere

circoscritta al solo ambito del risparmio energetico, ma impone un allargamento di obiettivi che richiede una rinnovata attenzione per il contenimento dei consumi di risorse (non solo energia, ma anche acqua e materiali) e la riduzione di inquinamento e rifiuti prodotti dalle attività edilizie nelle fasi di realizzazione, gestione e dismissione degli edifici. Per dare risposta all'esigenza espressa dai diversi operatori (progettisti, costruttori, investitori immobiliari, pubbliche amministrazioni, ecc.) di avere a disposizione strumenti di valutazione ambientale del progetto, negli ultimi venti anni sono state intraprese diverse strade, che hanno portato a elaborare diversi strumenti, oggi disponibili e in via di ulteriore definizione, che partono da approcci molto diversi.

Queste esperienze possono essere sostanzialmente ricondotte a due orientamenti e relativi percorsi di definizione degli

Fig. 01.  
Sintesi dei  
differenti approcci  
e strumenti per  
la valutazione  
ambientale  
degli edifici.



strumenti metodologici: quello volontario, nato nel mercato per il mercato e dunque già da tempo operativo, che ha portato alla definizione dei sistemi di valutazione multicriterio a punteggio (*Green Building Rating Systems*) e quello normativo, di lenta affermazione, che si fonda sulla quantificazione di indicatori ambientali sintetici tramite il metodo del *Life Cycle Assessment*, ossia della valutazione ambientale del ciclo di vita, riconosciuto a livello internazionale come metodo scientifico per valutare il profilo ambientale dei prodotti (e degli edifici), codificato all'interno della normativa tecnica internazionale (ISO, CEN) e promosso all'interno delle politiche ambientali europee (fig. 01). I sistemi volontari di valutazione multicriterio a punteggio (*Green Building Rating Systems*), si sono andati definendo, in maniera prima spontanea, poi sempre più formalizzata, attraverso gruppi di lavoro costituiti dagli operato-

ri del mercato (progettisti, produttori, imprese di costruzioni, gruppi assicurativi, enti gestori di patrimoni, ricercatori, ecc.). Dal punto di vista metodologico questi strumenti si basano sull'individuazione di un elenco di criteri ambientali (requisiti di progetto), definiti a partire dagli obiettivi ambientali di risparmio dei consumi di risorse (energia, materiali, acqua), di riduzione dell'inquinamento (emissioni in aria, in acqua e rifiuti solidi) e di tutela della salute umana (fig.

02). Viene così definito un protocollo con l'elenco dei requisiti ambientali, le procedure di verifica e le soglie di prestazione da soddisfare; in base al grado di soddisfacimento di ciascun requisito, viene associato un punteggio di merito e in base alla somma dei punteggi ottenuti si perviene al "punteggio di sostenibilità" dell'edificio. I vari sistemi a punteggio esistenti (BREEAM, LEED, HQE, CASBEE, Protocollo Itaca, ecc.) sono nati in nazioni diverse e sono stati elaborati da gruppi di lavoro diversi, dunque sono costituiti da requisiti, procedure di verifica e soglie prestazionali diverse a seconda della nazione (e gruppo di lavoro) che li ha definiti. Pur costituendo strumenti interessanti, che ampliano la verifica della sostenibilità dalla sola efficienza energetica a uno spettro allargato di questioni (sostenibilità del sito, gestione dell'acqua, scelta dei materiali, qualità nel tempo, ecc.), i siste-



Fig. 02. Nei sistemi a punteggio gli obiettivi di riduzione degli impatti ambientali vengono declinati in criteri (requisiti) ambientali di progetto.

mi a punteggio sono strumenti ancora deboli dal punto di vista di una effettiva verifica dell'efficacia ambientale delle scelte progettuali. Alcuni studi hanno evidenziato come l'effettiva riduzione degli impatti ambientali degli edifici certificati tramite questi strumenti sia soltanto del 15%<sup>(1)</sup>. Inoltre il fatto che le modalità di verifica della sostenibilità ambientale cambino da sistema a sistema e dunque il fatto che cambiando sistema si pervenga a un livello diverso di sostenibilità per uno stesso edificio, genera alcune perplessità sulla affidabilità di questi sistemi e soprattutto sulla comparabilità dei risultati (in particolare quando diventano strumenti di certificazione ambientale). In effetti, i sistemi a punteggio fanno riferimento a una "sostenibilità debole", dove la valutazione finale si basa sull'idea che la minore performance ambientale ottenuta in una categoria possa essere compensata dalla migliore performance ambientale ottenuta in un'altra categoria. Tutt'altro approccio connota l'ambito normativo, dove si sta puntando a individuare strumenti di "sostenibilità forte", in modo da operare una verifica della riduzione degli impatti su un range allargato di temi ambientali (effetto serra, acidificazione, formazione di ossidanti fotochimici, ecc.), con l'obiettivo di conte-

nimento di tutti gli impatti ambientali generati durante tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio e dei suoi materiali e componenti, andando a quantificare i consumi e le emissioni. In ambito normativo si è cercato di individuare uno strumento oggettivo, affidabile, scientificamente fondato, che consentisse di quantificare gli impatti ambientali, così da permettere la comparabilità dei risultati e la verifica dell'effettivo risultato ambientale in termini di riduzione complessiva degli impatti. Un metodo di misurazione sintetico di tutti gli impatti ambientali prodotti è il *Life Cycle Assessment (LCA)*, che valuta i flussi di consumo di risorse e di emissione di inquinanti in tutte le fasi del ciclo di vita. Esso costituisce il riferimento metodologico di tutte le norme inerenti la valutazione ambientale degli edifici e dei prodotti edilizi. In particolare, il Technical

Committee ISO/TC 59, *Building construction*, Subcommittee SC 17, *Sustainability in building construction*, ha elaborato le norme ISO/TS 21929-1:2010 *Sustainability in building construction. Sustainability indicators. Framework for the development of indicators for buildings* e ISO 21931-1:2010 *Sustainability in building construction. Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works – part1: Buildings*, che hanno l'obiettivo di armonizzare i diversi strumenti di valutazione ambientale degli edifici e di introdurre la valutazione ambientale del ciclo di vita (LCA), integrando nella valutazione ambientale dell'edificio la certificazione ambientale di prodotto EPD (Environmental Product Declaration) secondo la norma ISO 21930:2007 *Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products* (fig. 03).

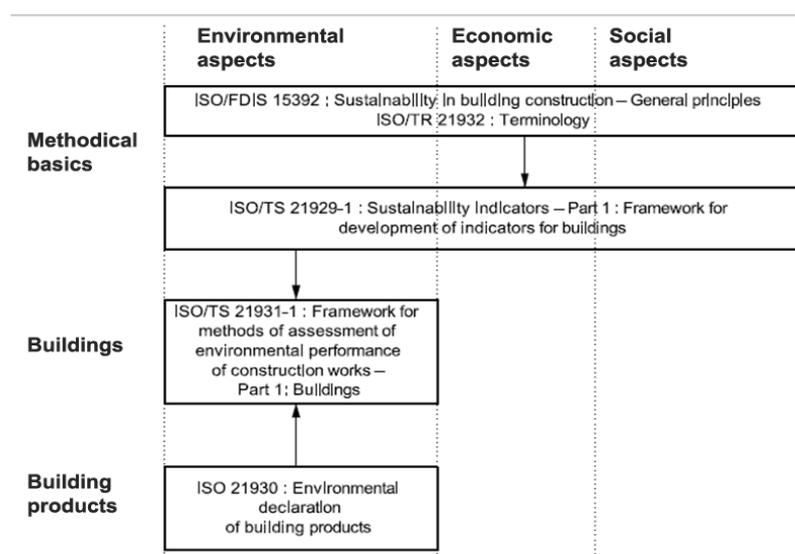


Fig. 03. Quadro di sintesi dei lavori normativi in ambito ISO relativi alla sostenibilità degli edifici.

<sup>(1)</sup> Humbert S., Abeck H., Bali N., Horvath A., "Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). A critical evaluation by LCA and recommendations for improvement", *International Journal of Life Cycle Assessment*, n. 12, 2007, pp. 46-57.

L'approccio delineato all'interno delle norme ISO è stato portato avanti in ambito europeo dal Technical Committee CEN TC350 *Sustainability of construction works. Framework for assessment of buildings*, che ha elaborato le norme EN 15643-1:2010 *Sustainability assessment of buildings. Part 1: General framework*, EN 15643-2:2011 *Assessment of buildings. Part 2: Framework for the assessment of environmental performance*, EN 15978:2011 *Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method*, in cui si dettaglia la procedura di valutazione LCA dell'edificio, basata sui dati LCA di prodotto derivanti da EPD, secondo la norma EN 15804:2012 *Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products* (fig. 04).



Questo corpus normativo è abbastanza "recente" e la valu-

tazione LCA è ancora oggi uno strumento poco noto e poco diffuso sul mercato, soprattutto in Italia. La motivazione è da ricercarsi nella difficoltà di accesso ai dati ambientali (manca a tutt'oggi una banca dati italiana), nella scarsità di dati primari disponibili (veicolati per esempio dalle certificazioni di prodotto EPD), nella complessità del metodo (se utilizzato in valutazioni approfondite), nella rarità di operatori competenti (soprattutto nelle sedi decisionali).

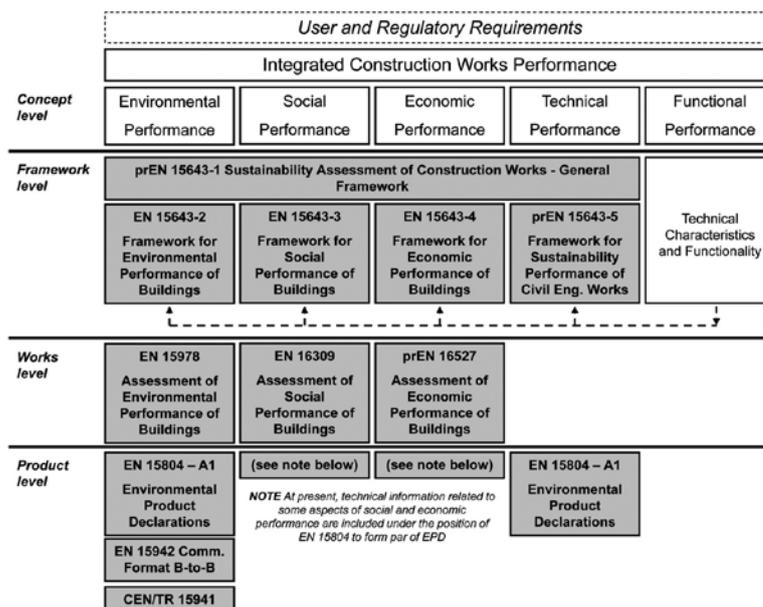
L'ostacolo principale è comunque la difficoltà di accesso ai dati ambientali: le banche dati sono poche, in genere accessibili solo

a pagamento, e contengono dati ambientali "medi", restituendo un profilo ambientale di prodotto generico e non specifico.

Le informazioni ambientali fornite dai produttori scarseggiano a causa della mancanza di una domanda "consapevole" da parte degli operatori del settore edilizio (committenza, progettisti, costruttori).

L'introduzione delle norme elaborate dal CEN TC 350, che basano la valutazione ambientale degli edifici sulla valutazione LCA, sta portando i sistemi a punteggio a integrare tale valutazione nell'elenco dei criteri ambientali, a sostituzione dei criteri relativi ai materiali. In particolare il DGNB tedesco è nato recentemente, nel 2008, in maniera già conforme alle norme CEN e prevede come valutazione ambientale dell'edificio la valutazione LCA (fig. 05) condotta a partire dai dati desumibili dalle certificazioni EPD dei prodotti utilizzati. Ciò sta spingendo i produttori verso la certificazione EPD dei loro prodotti, determinando una crescente disponibilità di informazioni relativamente alle informazioni ambientali dei prodotti.

Fig. 04. Quadro di sintesi dei lavori normativi in ambito CEN relativi alla sostenibilità degli edifici.



EVALUATION AREA	CRITERIA GROUP	CRITERIA	CRITERIA POINTS ACHIEVED	CRITERIA POINTS MAX. POSSIBLE	WEIGHTING FACTOR	WEIGHTED POINTS ACHIEVED	WEIGHTED POINTS MAX. POSSIBLE	GROUP POINTS ACHIEVED	GROUP POINTS MAX. POSSIBLE	GROUP PERFORMANCE INDEX	GROUP WEIGHT	TOTAL PERFORMANCE INDEX
ENVIRONMENTAL QUALITY	LIFE CYCLE ANALYSIS	Global Warming Potential	10.0	10.0	3	30.0	30.0	178.5	200.0	89.3%	22.5%	
		Ozone Depletion Potential	10.0	10.0	1	10.0	10.0					
		Photochemical Ozone Creation Potential	10.0	10.0	1	10.0	10.0					
		Acidification Potential	10.0	10.0	1	10.0	10.0					
		Eutrophication Potential	7.1	10.0	1	7.1	10.0					
	GLOBAL AND LOCAL ENVIRONMENTAL IMPACT	Local Environmental Impact	8.2	10.0	3	24.6	30.0					
		Sustainable Use of Resources / Wood	10.0	10.0	1	10.0	10.0					
		Nonrenewable Primary Energy Demand	10.0	10.0	3	30.0	30.0					
	RESOURCE CONSUMPTION AND WASTE GENERATION	Total Primary Energy Demand and Proportion of Renewable Primary Energy	8.4	10.0	2	16.8	20.0					
		Drinking Water Demand and Volume of Waste Water	5.0	10.0	2	10.0	20.0					
		Land Use	10.0	10.0	2	20.0	20.0					

Fig. 05. Esempio di certificazione ambientale di edificio volontaria che include indicatori LCA.

Inoltre, il riferimento all'informazione desumibile dalle certificazioni EPD consente di uscire dall'ambiguità dell'uso di dati secondari provenienti da banche dati, permettendo invece l'uso di dati primari riferiti allo specifico prodotto utilizzato nell'edificio, stimolando il mondo della produzione a una concorrenzialità diretta e innescando virtuosi processi di innovazione basati sul miglioramento delle prestazioni ambientali dei prodotti.

## 1.2. COME MISURARE L'ECOLOGICITÀ DI UN PRODOTTO EDILIZIO

La definizione di ecologicità di un materiale destinato alle costruzioni è questione particolarmente critica e complessa.

Tutti i prodotti possono essere definiti ecologici per un qualche loro aspetto: i materiali di origine vegetale e animale sono biologici e rinnovabili; i materiali di origine vegetale, animale e minerale sono naturali; i materiali di sintesi chimica possono essere riciclati. Ma allora, come

è possibile orientare la scelta quando tutti i materiali possono vantare una qualche caratteristica di ecologicità?

Innanzitutto occorre precisare che non esistono materiali ecologici in senso assoluto, poiché l'ecologicità dipende dal contesto geografico di produzione e d'uso, dall'applicazione del prodotto nell'edificio, dalle prestazioni che è in grado di soddisfare rispetto alle esigenze di progetto, dalle condizioni di esercizio, dalle prestazioni attese dall'edificio nel tempo, dalla durabilità e bassa manutenibilità in relazione anche alla sua corretta messa in opera. Tutte variabili indefinibili alla scala del prodotto, ma individuabili solo di volta in volta sulla base dell'edificio e delle esigenze di progetto.

L'ecologicità non può quindi essere assunta come caratteristica intrinseca di materiale o di un prodotto, ma invece è strettamente dipendente dagli impatti ambientali che si determinano nelle fasi di reperimento delle materie prime e di produzione

dei materiali, la cui misura è descrivibile attraverso gli ecoprofilo individuati con una valutazione LCA, e dalle prestazioni che poi quel prodotto garantirà in uso (compresa la durata).

In questa direzione devono essere ricercati indicatori prestazionali utili per orientare le scelte progettuali nella direzione dell'efficienza ambientale.

## 1.3. CHE COS'È UNA VALUTAZIONE LCA

Il *Life Cycle Assessment* è una procedura standardizzata che permette di quantificare e valutare i danni ambientali connessi all'intero ciclo di vita di un prodotto o un servizio. Il metodo viene codificato dal SETAC (Society of Toxicology and Chemistry), nel 1993 e trova un primo riconoscimento internazionale negli standard ISO della serie 14040 nel 1997.

Il metodo si fonda sulla constatazione che ogni processo attiva dei flussi di sostanze (materia) e di energia in ingresso (consumi in *input*) e dei flussi di rifiuti e di

inquinamento in uscita (emissioni in *output*). Se noi monitoriamo questi flussi possiamo definire (per ogni unità di prodotto finale) quali sono i consumi di materia ed energia e quali sono i rifiuti e l'inquinamento causati (fig. 06).

strumento usato per esaminare le conseguenze ambientali dalla culla alla tomba (*from cradle to grave*) della realizzazione e uso di prodotti o edifici.

L'obiettivo di una valutazione LCA è quello di comparare gli

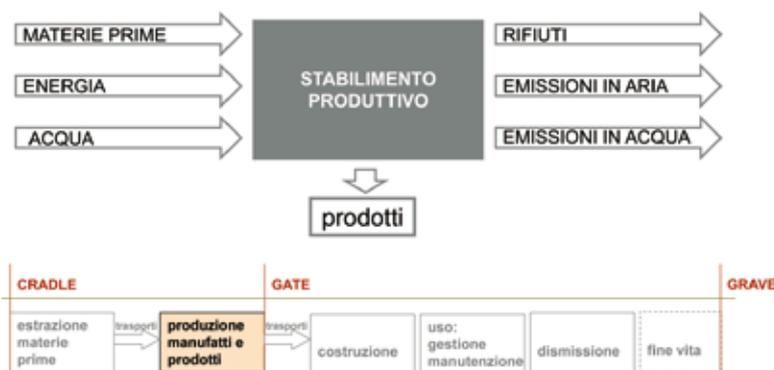
svolta dal prodotto (o servizio), ossia la prestazione di riferimento, in modo da poter individuare prodotti (o servizi) alternativi. La definizione dell'unità funzionale serve per quantificare il flusso di riferimento oggetto della valutazione, ovvero la quantità di materiale necessaria a soddisfare la prestazione attesa.

Per esempio, se lo scopo della valutazione è mettere a paragone diversi tipi di materiali isolanti, l'unità funzionale potrebbe essere la resistenza termica: per raggiungere la stessa prestazione occorre un differente spessore per ciascun materiale isolante in relazione al valore specifico di conducibilità termica, e dunque una diversa quantità di materiale (in kg).

Dunque il confronto tra diversi prodotti (o servizi) deve essere impostato sulla base della stessa unità funzionale, quantificata come flusso di riferimento. I diversi flussi di riferimento individuati vengono assunti come quantità di riferimento per calcolare gli input e gli output.

Un altro aspetto che deve essere definito nell'impostazione iniziale sono i confini di sistema: non sempre è possibile ricostruire l'intero ciclo di vita (per cui è possibile compiere l'assunzione di trascurare alcune fasi) e non sempre è possibile risalire a tutte le filiere (per cui è possibile interrompere certe catene di processo). Per chiarire quali sono i confini di sistema, viene

Fig. 06. Flussi di consumi ed emissioni considerati per ciascun processo in un LCA.



Il processo di trasformazione può essere un unico processo oppure una catena di processi di trasformazione: ricostruendo tutta la filiera e tutti i flussi di materia ed energia è possibile determinare il profilo ambientale (ecoprofilo) di un certo prodotto, che ci racconta gli impatti ambientali prodotti dalla estrazione delle materie prime fino all'uscita dello stabilimento produttivo (*from cradle to gate*). Se facciamo la stessa operazione considerando tutte le attività che si svolgono anche durante l'uso (messa in opera, manutenzione, ecc.) e a fine vita (demolizione, separazione dei materiali e conseguente smaltimento in discarica, termovalorizzazione, riciclaggio, riuso), possiamo costruire il bilancio ecologico di un prodotto lungo il ciclo di vita.

Il *Life Cycle Assessment* è uno

strumento usato per esaminare le conseguenze ambientali di diverse alternative, allo scopo di scegliere il prodotto a minor impatto ambientale oppure di individuare le criticità ambientali per operare dei miglioramenti ambientali (eco-innovazione di prodotto o di processo).

Dal punto di vista metodologico, un LCA consiste in quattro fasi:

1. Definizione dello scopo e degli obiettivi
2. Analisi dell'inventario
3. Valutazione degli impatti ambientali
4. Interpretazione dei risultati.

Nella **prima fase**, devono essere formulati gli obiettivi e lo scopo per cui viene svolta la valutazione. Un primo passaggio fondamentale è la definizione dell'unità funzionale, soprattutto nelle valutazioni comparative: si tratta di esplicitare qual è la funzione

in genere costruito uno schema (diagramma dei flussi) che rappresenta i processi analizzati e i flussi tra processi.

La **seconda fase** di un LCA consiste nella raccolta di dati (inventario) relativi ai processi definiti nel diagramma dei flussi. Per ciascun processo devono essere quantificati gli *input* (materie prime, acqua ed energia in ingresso) e gli *output* (emissioni in aria, in acqua, nei suoli e rifiuti solidi) e devono essere computati tutti i flussi relativi a ciascun processo in ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto. I dati raccolti devono sempre essere riferiti all'unità funzionale definita nella prima fase dell'analisi.

Il risultato dell'inventario (*Life Cycle Inventory*) è un elenco di quantità di sostanze.

La **terza fase** di un LCA consiste nella valutazione degli impatti ambientali, ossia nella valutazione del contributo di ciascuna delle sostanze elencate nell'inventario alle diverse categorie di impatto ambientale. Innanzitutto si procede alla "classificazione", in cui i flussi di materiale ed energia, esaminati nell'analisi dell'inventario, vengono assegnati alle categorie ambientali.

Le tipiche categorie di impatto ambientale sono:

- Effetto serra<sup>[2]</sup> (GWP. Global Warming Potential), kg CO<sub>2</sub> eq.
- Riduzione dello strato di ozono<sup>[3]</sup> (ODP. Ozone Depletion Potential), kg CFC-11 eq.

no<sup>[3]</sup> (ODP. Ozone Depletion Potential), kg CFC-11 eq.

- Acidificazione di suoli e acque<sup>[4]</sup> (AP. Acidification Potential of land and water), kg SO<sub>2</sub> eq.
- Eutrofizzazione<sup>[5]</sup> (EP. Eutrophication Potential), kg (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> eq.
- Formazione di smog fotochimico<sup>[6]</sup> (POCP. Photochemical Ozone Creation Potential), kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq.
- Degrado abiotico di risorse non fossili<sup>[7]</sup> (ADP. Abiotic depletion potential for non-fossil resources), kg Sb eq.
- Degrado abiotico di risorse fossili (ADP. Abiotic depletion potential for fossil resources), MJ.

Per poter "sommare" tra loro le

[2] I gas serra consentono alle onde corte emesse dal sole di attraversarli, ma trattengono le radiazioni infrarosse a onde lunghe riflesse dalla superficie terrestre. Questo permette di avere temperature sulla Terra adeguate alla vita. Ma la sovrabbondanza di emissioni di tali gas determinate dalle attività umane nell'ultimo mezzo secolo ha alterato l'equilibrio energetico della Terra, causando un aumento della temperatura atmosferica. Il surriscaldamento del globo (*Global Warming*) provoca l'aumento di fenomeni estremi (uragani, temporali, inondazioni, siccità), lo scioglimento dei ghiacciai, l'aumento del livello dei mari, la desertificazione, la perdita di biodiversità.

[3] Lo strato di ozono è uno strato protettivo dell'atmosfera, collocato nella stratosfera, all'altezza di 15-60 km dalla superficie terrestre, e costituito di ossigeno (O<sub>3</sub>). Tale strato consente di attenuare le radiazioni solari ultraviolette a onde corte (UV-B), che possono risultare dannose (tumori alla pelle, cataratte del cristallino, indebolimento del sistema immunitario). La riduzione dello strato di ozono è causata dall'interazione con gli ossidi di cloro contenuti in gas come i clorofluorocarburi (CFC), gli idroclorofluorocarburi (HCFC) e gli idrofluorocarburi (HFC), usati come agenti espandenti nei refrigeratori, negli spray e nella produzione di alcuni materiali edilizi (per esempio alcuni isolanti termici). Nel 1987 le Nazioni Unite sottoscrissero il Protocollo di Montreal, per fermare la produzione di tali sostanze chimiche. Nel 1995 l'Unione Europea ha vietato l'uso e la produzione di CFC e nel 2000 ha vietato l'uso degli HCFC.

[4] L'acidificazione è causata dalle emissioni in aria di acidi o di gas che a contatto con l'umidità dell'aria si depositano al suolo e nell'acqua. Depositi acidi hanno un impatto negativo sugli ecosistemi naturali e sull'ambiente sia naturale sia antropizzato. Esempi di sostanze che provocano l'acidificazione sono: il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), ammoniaca (NH<sub>3</sub>). Le principali fonti di emissioni di sostanze acidificanti sono l'agricoltura e la combustione di combustibili fossili utilizzati per la produzione di elettricità, riscaldamento e trasporti.

[5] L'eutrofizzazione è causata dall'arricchimento eccessivo di sostanze nutritive nelle acque e nei suoli. La deposizione al suolo di composti di azoto favorisce la crescita delle foreste in quanto l'azoto è un nutriente, ma contemporaneamente porta alla distruzione di un gran numero di ecosistemi sia sulla terra che nel mare, con l'esito di impoverire la biodiversità. Negli ambienti di acqua dolce l'eutrofizzazione è quasi sempre originata dalla presenza di fosfati. Sul suolo e nel mare, invece, nella maggior parte dei casi è l'azoto il fattore limitante. Le principali sostanze che provocano l'eutrofizzazione sono gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>).

[6] La principale causa dello smog fotochimico e delle nebbie tossiche nelle aree urbanizzate è la presenza di ozono negli strati bassi dell'atmosfera. In questa collocazione l'ozono è dannoso per la salute dell'uomo (provoca asma e bronchiti) e per la vegetazione e contribuisce alla formazione delle piogge acide. L'ozono si forma, negli strati bassi, per azione della radiazione solare sugli idrocarburi combinati con gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e i composti organici volatili (VOC) generati dalla combustione dei combustibili fossili. Negli ultimi trentanni in Europa il livello al suolo di questo gas è all'incirca raddoppiato.

[7] Le risorse ambientali sono attribuibili a due ordini di stato: abiotico e biotico. Le risorse abiotiche sono i componenti di un ecosistema che non hanno vita (dal greco *bios*, cioè vita, con il prefisso *a-*, senza). Si tratta quindi dell'ambiente circostante tranne animali e piante: luce, terra (suolo e sottosuolo), rocce, minerali, acqua, aria, etc. L'indicatore di impatto ambientale del degrado abiotico fa riferimento all'estrazione di materie prime minerali o combustibili fossili.

quantità di sostanze che causano un certo impatto ambientale viene effettuato un processo di "caratterizzazione": con l'aiuto di fattori di equivalenza, i differenti contributi delle sostanze in inventario vengono aggregati in un determinato effetto ambientale e rapportati ad una sostanza (presa come riferimento). I flussi registrati nell'analisi dell'inventario vengono moltiplicati per i rispettivi fattori di equivalenza e sommati tra loro: il potenziale d'impatto così determinato rappresenta la misura di un possibile danno ambientale.

È importante sottolineare che quando si trova un dato espresso in kg di CO<sub>2</sub>, questo significa che sono state conteggiate soltanto

valenti" al contributo della CO<sub>2</sub>. Per esempio un grammo di metano determina un effetto serra pari a venticinque grammi di anidride carbonica, per cui è possibile "convertire" la quantità di metano in CO<sub>2</sub> equivalente e sommarla alla quantità di CO<sub>2</sub> (es. se nell'inventario ci sono 43 kg di CO<sub>2</sub> e 1 kg di CH<sub>4</sub>, dal momento che 1 kg di CH<sub>4</sub> = 25 kg di CO<sub>2</sub>, posso sommare le due quantità e ottenere un valore di GWP pari a 68 kg di CO<sub>2</sub> eq.). Stesso tipo di conversione avviene anche per altre categorie di impatto. I fattori di conversione (caratterizzazione) sono stabiliti all'interno della EN 15804:2012/ FprA1:2013 (fig. 07).

Nella **quarta fase**, di interpretazione dei risultati, dalla let-

#### 1.4. SPECIFICITÀ DI APPLICAZIONE DEL METODO LCA IN EDILIZIA

Il metodo LCA è nato in ambito industriale, e deve dunque tener conto delle peculiarità del settore edilizio quando viene applicato per la valutazione ambientale degli edifici. Innanzitutto ogni edificio è unico e diverso dagli altri, il che rende difficile definire regole standardizzate di valutazione, che dipendono dal contesto geografico, dall'epoca storica, dalla cultura locale, ecc. Inoltre l'applicazione del metodo LCA nel settore edilizio non è semplice poiché occorre svolgere due valutazioni (fig. 08): una relativa al ciclo di vita dei prodotti edilizi che costituiscono l'edificio e una relativa al ciclo di vita dell'e-

Fig. 07.  
Esempi di fattori di caratterizzazione di alcune sostanze responsabili dell'effetto serra.  
Fonte: EN 15804:2012/ FprA1:2013. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

Composto	Formula	GWP100 [kg CO <sub>2</sub> /kg gas]
Diossido di carbonio	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Triclorofluorometano (CFC-11)	CFCI <sub>3</sub>	4.800
Diclorodifluorometano (CFC-12)	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	11.000
Clorotrifluorometano (CFC-13)	CF <sub>3</sub> Cl	14.000
Trifluorometano (HFC-23)	CHF <sub>3</sub>	15.000
Monoclorodifluorometano (HCFC-22)	CHF <sub>2</sub> Cl	1.800
Pentafluoroetano (HCFC-125)	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3.500
Bromotrifluorometano (Halon-1301)	CF <sub>3</sub> Br	7.100

le emissioni di CO<sub>2</sub>. Quando invece l'unità di misura è espressa in kg di CO<sub>2</sub> eq., significa che sono state conteggiate tutte le emissioni a effetto serra, convertendo tramite la procedura della caratterizzazione i contributi delle altre sostanze in quantità "equi-

valenti" di tutta l'analisi vengono messi in luce i processi del ciclo di vita a maggior impatto e le sostanze utilizzate a maggior impatto, in modo da evidenziare quali aspetti possono essere oggetto di miglioramento ambientale.

dificio (con responsabilità legate a scelte di operatori differenti). Per poter valutare l'edificio è infatti necessario conoscere il profilo ambientale dei prodotti che lo compongono (impatti ambientali per approvvigionamento materie prime, trasporti,

produzione), integrando tali informazioni con dati LCA relativi alle specificità dell'edificio (trasporto dei materiali al cantiere, messa in opera, manutenzione, dismissione), che dipendono da decisioni di progetto.

La valutazione ambientale di un edificio estesa all'intero ciclo di vita dovrebbe considerare, secondo quanto previsto dalle norme ISO e CEN (fig. 09), gli impatti relativi alla fase di produzione (approvvigionamento materie prime, trasporti, processi di produzione, dalla culla al cancello di uscita dallo stabilimento), alla fase di costruzione (trasporto al cantiere, messa in opera), alla fase d'uso (gestione energetica, manutenzione, riparazione, sostituzione, riqualificazione) e alla fase di fine vita (demolizione o disassemblaggio dell'edificio; riciclaggio dei materiali o smaltimento in discarica, inclusi i trasporti).

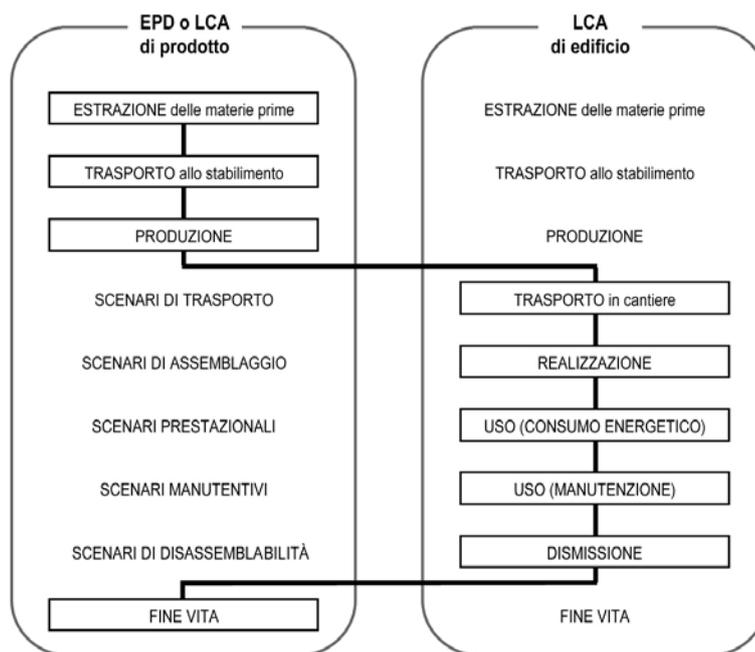


Fig. 08. Fasi del ciclo di vita e oggetti (edificio/ prodotti edili) della valutazione LCA in edilizia.

### 1.5. IL RUOLO DELLA DURATA NELLA VALUTAZIONE LCA DEGLI EDIFICI

Nella raccolta delle informazioni relative alle diverse fasi, occorre dire che mentre risulta abbastanza "attendibile" la raccolta dei dati ambientali relativi alla fase di produzione (database e EPD di prodotto) e alla fase d'uso

(per quanto concerne la gestione energetica), risulta più difficile valutare l'impatto ambientale relativo alla fase di costruzione (rispetto a cui scarseggiano i dati), alla fase di gestione (rispetto a cui si possono fare solo ipotesi sugli interventi di manutenzione e sulle durate dei componenti, senza la disponibilità di dati certi) e alla fase di fine vita (rispetto a cui si possono fare solo ipotesi sugli scenari di demolizione, separazione, smaltimento e/o riciclaggio, non potendo conoscere le reali possibilità di dismissione che ci saranno in futuro).

In particolare occorre sottolineare che i processi di manutenzione, riparazione e sostituzione (in relazione alla durabilità dei materiali) non sono affatto trascurabili nel bilancio ambientale, poiché aumentano considerevolmente gli impatti ambientali nel ciclo di vita (a maggior

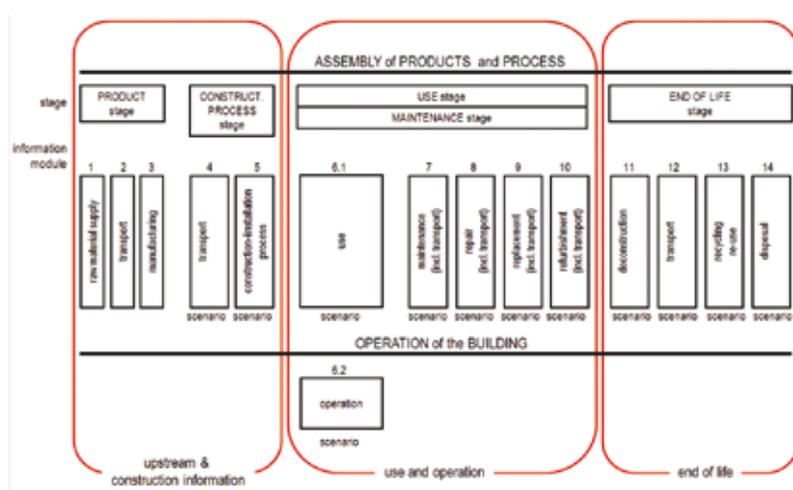


Fig. 09. Fasi del ciclo di vita che devono essere considerate in una valutazione LCA di edificio.

ragione negli edifici a elevata "intensità tecnologica", come le Passivhaus o gli Zero Energy Buildings).

Per esempio **una soluzione di isolamento a cappotto costituisce una soluzione costruttiva più fragile rispetto a una soluzione monostrato in muratura, e può richiedere cicli di sostituzione ogni 25-30 anni**, in relazione al tipo di materiale isolante utilizzato (materiali isolanti differenti hanno durate differenti, andando a incidere sugli interventi di sostituzione e sul decadimento prestazionale durante la loro vita

ché informazione difficilmente reperibile); questo può portare a orientarsi verso soluzioni magari a minor impatto di produzione ma con durate ridotte e che richiedono cicli di sostituzione durante la vita utile dell'edificio, innalzando gli impatti ambientali complessivi rispetto a prodotti magari con impatto ambientale iniziale superiore ma durata maggiore (fig. 10).

Alcune nazioni europee, come la Francia e l'Austria, sono particolarmente sensibili al tema della durata e alla sua influenza sulle valutazioni ambientali LCA. In

associati alle differenti soluzioni costruttive da utilizzare per la valutazione LCA di edificio.

Le attuali EPD europee non dichiarano la vita utile del prodotto e questa informazione è ancora lacunosa in letteratura, per cui spesso per i progettisti risulta difficile fare stime e assunzioni, che oltretutto pesano molto sul bilancio ambientale complessivo e dunque sulle scelte tra alternative tecniche. La nuova norma UNI EN 15804:2014 sulle EPD dei prodotti edilizi prevede **l'obbligo di dichiarare la vita utile del prodotto** (*reference service life*), responsabilizzando i produttori e mettendo a disposizione dei progettisti un dato importante per le comparazioni LCA.

Prolungare la durata dell'edificio e delle sue parti è fondamentale in un'ottica di sostenibilità ambientale. In questo senso le operazioni di manutenzione, riparazione, sostituzione e riqualificazione sono considerate positive dal punto di vista ambientale, dal momento che permettono la "conservazione" dei materiali in uso, e dunque il prolungamento della vita utile delle parti dell'edificio ancora dotate di qualità residue. La demolizione dell'edificio comporterebbe la perdita dell'energia incorporata nell'edificio e la necessità di compiere un nuovo investimento energetico per la nuova costruzione.

Un altro tema di fondamentale importanza nella valutazio-

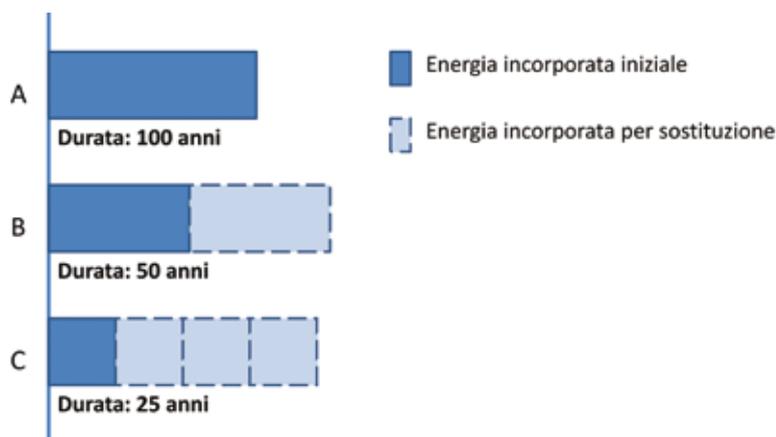


Fig. 10. Confronto tra l'energia incorporata di tre soluzioni tecniche alternative, considerando uno scenario di durata dell'edificio di 100 anni: la soluzione tecnica A è a maggior energia incorporata iniziale, ma avendo una durabilità prevista di 100 anni e non richiedendo interventi di manutenzione e sostituzione risulta essere, considerando l'intero ciclo di vita, la soluzione a minor energia incorporata (fonte: Monica Lavagna, "Il ruolo della durata e della manutenzione nella valutazione ambientale del ciclo di vita", in Cinzia Talamo, a cura di, *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. Il piano di manutenzione*, Sistemi Editoriali Esselibri, Napoli, 2010, pp. 115-127).

utile), mentre una soluzione monostrato in muratura può durare 100 anni senza richiedere interventi manutentivi (se non della fornitura esterna).

Spesso si operano confronti tra prodotti paragonando l'eco-profilo *from cradle to gate* non tenendo conto della durata (per-

Francia nelle certificazioni ambientali EPD (chiamate *Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire*) deve essere dichiarata la vita utile del prodotto; in Austria il catalogo materiali IBO, di riferimento per la certificazione ambientale Total Quality, prevede alcuni scenari di vita utile

ne LCA dell'edificio è costituito dall'impatto energetico della demolizione e separazione dei materiali, oltre a quello di smaltimento. L'uso di materiali omogenei (solo materiali minerali dall'interno all'esterno) e sistemi costruttivi semplici facilita la demolizione selettiva e il riciclaggio dei materiali. Spesso nelle valutazioni LCA gli scenari di fine vita degli edifici sono valutati con approssimazione o trascurati, mentre questo tema è di grande rilevanza e oggetto di attenzione normativa a livello internazionale. In particolare la Direttiva Quadro sui Rifiuti 2008/98/CE ha fissato un obiettivo di riciclaggio per i rifiuti da costruzione e demolizione pari al 70%, da raggiungere nel 2020, promuovendo di fatto la demolizione selettiva e le soluzioni costruttive in grado di favorire tale scenario di fine vita.

### 1.6. CHE COS'È UN EPD

Per semplificare l'accesso alle informazioni ambientali relative ai prodotti, negli ultimi anni si sono sviluppati vari strumenti di comunicazione ambientale di prodotto, come le certificazioni ambientali<sup>[8]</sup>. Le etichettature ambientali sono strumenti volontari utili per stimolare la domanda e l'offerta di prodotti/servizi ambientalmente preferibili e per fornire ai consumatori informazioni precise e certificate (o

autocertificate) sulla preferibilità ambientale di un prodotto in relazione all'intero ciclo di vita.

Le certificazioni ambientali volontarie sono chiamate anche etichettature ambientali o etichette/marchi ecologici e sono definite dalle norme della serie ISO 14020, che distinguono tra:

- Etichette di primo tipo (ISO 14024), del tipo Ecolabel;
- Etichette di secondo tipo (ISO 14021) o autocertificazioni;
- Etichette di terzo tipo (ISO 14025), del tipo EPD.

L'Ecolabel è una etichetta ambientale di primo tipo (ISO 14024). Si tratta di marchi ambientali volontari apposti sui prodotti (per esempio il fiore dell'Ecolabel europeo), in base al soddisfacimento di requisiti ambientali "a soglia" definiti da organismi indipendenti. In questo caso la credibilità del marchio è sostenuta dalla presenza di un ente certificatore. Solo alcune tipologie di prodotti hanno i criteri Ecolabel e possono certificarsi; in edilizia i prodotti certificabili sono le coperture dure per pavimenti (piastrelle), i prodotti vernicianti per interni e per esterni e le pompe di calore. Ma questo tipo di certificazione è poco diffuso in edilizia poiché è più adatto alla informazione dal produttore (l'industria manifatturiera) al consumatore, mentre in edilizia occorre un'informazione dal produttore (di se-

milavorati e componenti) al produttore (progettisti e imprese di costruzioni).

Gli standard ISO riconoscono le autocertificazioni dei produttori, definendole etichette di secondo tipo (ISO 14021). Si tratta di marchi ambientali apposti sui prodotti sulla base di una autocertificazione del produttore. Non è quindi previsto un certificatore esterno che verifichi la validità del marchio. Esempi più ricorrenti di caratteristiche certificate in questo modo sono: riciclabile, compostabile, percentuale di materiale riciclato contenuto nel prodotto, biodegradabilità, assenza di sostanze tossiche o dannose per l'ambiente. Queste auto-dichiarazioni devono essere accurate, verificabili e non ingannevoli. Per questo motivo viene richiesto l'utilizzo di metodologie verificate e provate su basi scientifiche, che consentano di ottenere risultati attendibili e riproducibili.

L'EPD (*Environmental Product Declaration*) è una etichetta di terzo tipo (ISO 14025), che viene attribuita grazie a una più articolata "dichiarazione ambientale" riferita a un prodotto, per la predisposizione della quale occorre fare riferimento alle norme ISO 14040 sulla valutazione del ciclo di vita (LCA). In ambito edilizio esistono dei riferimenti normativi internazionali specifici su come redarre le EPD di prodotti

<sup>[8]</sup> Campioli A., Lavagna M., "Criteri di ecologicità e certificazione ambientale dei prodotti edilizi", *il Progetto Sostenibile*, 2010, pp. 48-55.

edilizi (ISO 21930 e EN 15804). È questa l'etichettatura più diffusa, in quanto non si tratta di un semplice "marchio" apposto sul prodotto, ma di un documento pubblico all'interno del quale viene pubblicato l'ecoprofilo (profilo ambientale relativo alle fasi di pre-produzione e produzione), ossia i dati quantitativi scaturiti da un LCA. Tali dati risultano utili per il progettista per poter operare confronti tra prodotti alternativi e per poter elaborare valutazioni alla scala dell'edificio (considerando le prestazioni in uso e gli scenari di fine vita in relazione allo specifico progetto).

La diffusione di dati ambientali tramite le certificazioni di prodotto è fondamentale. Infatti la scarsa affermazione fino ad oggi della valutazione LCA è dovuta alla scarsa disponibilità di dati. Esistono delle banche dati ambientali relative ai materiali edilizi, che però hanno il limite di fornire un profilo ambientale riferito a contesti geografici precisi, difficilmente estendibili ad altri contesti, e riferito a categorie "generiche" di materiali (laterizio vale per blocchi forati, mattoni faccia a vista, pignatte, rivestimenti in cotto, tegole e coppi; dunque "prodotti" molto eterogenei), non permettendo di valorizzare specifici processi produttivi virtuosi e a basso impatto ambientale. I produttori meno

virtuosi dal punto di vista ambientale possono così "nascondersi" dietro a un dato "medio" da banca dati, che esprime valori di impatto ambientale magari più bassi rispetto ai loro valori effettivi.

Può infatti esserci una notevole differenza di impatti ambientali associati a prodotti simili provenienti da stabilimenti produttivi differenti, in maniera analoga a quanto avviene per le prestazioni (per esempio, le prestazioni di conducibilità termica di prodotti analoghi dello stesso comparto materico possono essere molto differenti tra loro e discostarsi dai dati reperibili a letteratura o nelle banche dati).

Tramite l'EPD il singolo produttore può mettere in evidenza il ridotto impatto ambientale del proprio specifico prodotto rispetto ai prodotti dello stesso comparto produttivo. Per esempio, se un produttore alimenta il proprio stabilimento produttivo con energia prodotta da biomassa (energia rinnovabile) o adotta un impianto di cogenerazione, riduce drasticamente l'impatto ambientale riconducibile al suo prodotto rispetto agli altri, oppure se un prodotto utilizza materiale riciclato, gli impatti di produzione sono notevolmente inferiori allo stesso prodotto che viene confezionato con materie prime vergini.

L'accesso al profilo ambienta-

le specifico dei singoli prodotti consentirebbe di mettere in concorrenza verso l'innovazione ambientale non solo i comparti materici concorrenti, ma anche i singoli produttori, premiando i più virtuosi. Per questo occorre uscire dai dati medi delle banche dati e puntare su una conoscenza specifica delle prestazioni ambientali dei singoli prodotti, valorizzando le *best practices* e l'uso delle *best available technologies*.

A livello internazionale esistono diversi sistemi di certificazione in relazione ai diversi enti di certificazione, ciascuno dei quali con le proprie "regole" e procedure. Questo ha portato nei primi anni di sperimentazione all'emissione di EPD elaborate con procedure differenti, rendendo inconfrontabili i risultati tra sistemi differenti e facendo venir meno gli obiettivi delle EPD. La Commissione Europea ha però dato mandato al CEN di sviluppare norme armonizzate per la valutazione ambientale dei prodotti edilizi e degli edifici, in maniera simile a quanto avvenuto per la certificazione energetica<sup>[9]</sup>. In particolare la certificazione EPD dei prodotti è oggi regolata a livello europeo dalla norma EN 15804, la più recente di un percorso che parte dalla ISO 14025 e che ha visto un primo momento di specificazione delle EPD dei prodotti edilizi con la ISO 21930:2007. La norma EN

<sup>[9]</sup> I problemi di inconfrontabilità dei risultati di diversi schemi di certificazione energetica esistenti in Europa ha indotto la Commissione Europea a dare mandato al CEN per l'elaborazione di norme armonizzate per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, che costituiscono oggi un riferimento obbligatorio richiamato all'interno delle normative cogenti.

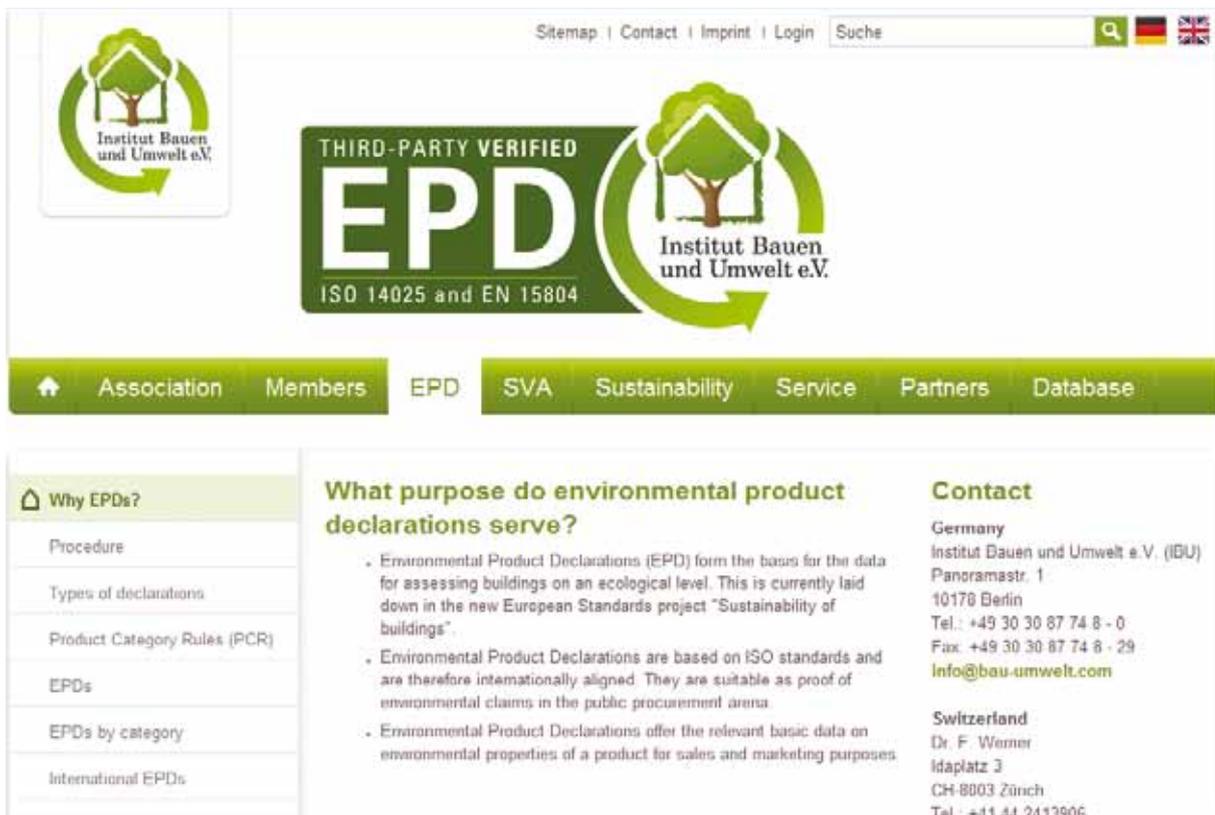


Fig. 11. Sito web dell'Institut Bauen und Umwelt dedicato alle EPD dei prodotti edilizi.

15804 è stata elaborata a seguito del monitoraggio delle criticità e problematiche sollevatesi con le prime EPD, e costituisce una norma molto più vincolante e restrittiva rispetto alle "libertà" interpretative e procedurali, proprio allo scopo di far sì che le EPD riescano a diventare uno strumento per confrontare il profilo ambientale dei prodotti in un mercato aperto europeo.

L'EPD oltretutto costituirà riferimento privilegiato per la declinazione del nuovo requisito sulla sostenibilità introdotto dal Regolamento 305/2011 (CPR – Construction Products Regulation) del Parlamento Europeo e del Consiglio, che fissa le nuove

condizioni per la commercializzazione dei prodotti da costruzione (marcatura CE).

Molte certificazioni EPD sono reperibili all'estero, in particolare in Germania, dal momento che il sistema di certificazione ambientale nazionale DGNB richiede l'EPD come certificazione di prodotto per sviluppare il calcolo LCA dell'intero edificio. In Germania lo schema di certificazione delle Dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) è stato sviluppato dalla AUB (Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukte), che rappresenta la federazione tedesca dei produttori di materiali da costruzione, e dall'IBU<sup>(10)</sup> (In-

stitut Bauen und Umwelt, Istituto per le Costruzioni e l'Ambiente), che vede il coinvolgimento di esperti indipendenti provenienti dal mondo della ricerca e delle istituzioni pubbliche (Ministero delle Costruzioni, Agenzie per l'Ambiente) per la verifica delle valutazioni. La certificazione ambientale di prodotto rilasciata dall'IBU (fig. 11) è stata ideata in stretta collaborazione con le autorità pubbliche tedesche del settore costruzioni e del settore ambiente.

Le categorie di materiali attualmente presenti sono: Bathrooms & Sanitary Installations, Building fasteners, Coating, Metals for buildings, Concrete, Floor cove-

<sup>(10)</sup> <http://bau-umwelt.de/hp1/Institut-Bauen-und-Umwelt-e-V.htm>

Fig. 12. Sito web dell'International EPD® System, in cui è possibile trovare EPD dei prodotti edilizi italiani.



rings, Fire protection, Roofing and waterproofing membranes, Roofing and facades, Insulating materials, Ceiling systems, Floor Covering Adhesives, Fibre glass mesh, Basic materials and pre-products, Wodden materials, Air-conditioning & Refrigeration Engineering, Ceramic tiles, Luminaires & lamps, Masonry, Pla-

ster & mortar, Room partition systems, Reaction resin products, Laminated plastics, Locks and Fittings, Timber, Dry Construction, Door systems, Back-ventilated façade, Solid wood, Wall and ceiling coverings. Le (ancora poche) EPD italiane di prodotti edilizi invece fanno riferimento al sistema internazionale

The International EPD® System (fig. 12), gestito dallo Swedish Environmental Management Council (SWEDAC): è possibile trovare EPD di materiali isolanti, calcestruzzi, materiali di rivestimento, finestre, tondini in acciaio per armature, pitture.

## 2. SCELTE PROGETTUALI VERSO LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Per favorire la diffusione delle valutazioni LCA a supporto delle scelte progettuali orientate alla sostenibilità ambientale, oltre alla promozione sul versante della diffusione delle informazioni ambientali relative alla produzione tramite EPD, occorre anche creare una domanda di informazioni ambientali. In particolare occorre sollecitare gli operatori del settore, primi fra tutti i progettisti, all'uso degli indicatori ambientali come parametri di progetto da affiancare agli altri indicatori prestazionali, anche se ancora molto deve essere ancora fatto sul fronte della formazione all'uso corretto delle informazioni ambientali LCA, affinché queste ultime possano essere uno strumento di conoscenza e di supporto alle decisioni adeguatamente utilizzato. In questo capitolo sono indicati possibili usi dei dati ambientali LCA a supporto delle scelte di progetto.

Al di là dei risultati, che non devono mai essere assunti in senso assoluto ma considerati e soppesati come parte di un contesto più ampio, gli esempi riportati hanno l'obiettivo di descrivere una corretta impostazione delle valutazioni comparative, a partire dal ruolo fondamentale della definizione dell'unità funzionale (ovvero la prestazione di riferimento) e della coerenza dei dati di partenza.

### 2.1. COME UTILIZZARE I DATI DI UN LCA O DI UN EPD NEL PROGETTO

I dati LCA possono essere utilizzati a supporto del progetto in diversi modi:

- A.** per il confronto tra prodotti simili tramite dati primari LCA (provenienti da EPD),
- B.** per il confronto tra prodotti alternativi,
- C.** per il confronto tra soluzioni tecniche alternative,
- D.** per l'ottimizzazione di una so-

luzione tecnica,

- E.** per il confronto tra gli impatti per costruire e gli impatti per abitare (fase d'uso).

In tutti questi casi, il confronto deve essere realizzato definendo la prestazione attesa dal prodotto scelto e quindi la corrispondente unità funzionale.

- A.** I progettisti possono scegliere materiali e prodotti a basso impatto ambientale comparando prodotti simili (dello stesso comparto materico) ma provenienti da differenti stabilimenti produttivi (con differenti tipi di processo di produzione, di energia usata, di filiera di approvvigionamento) o caratterizzati da differenti risorse impiegate (per esempio, con diversa quantità di materiale riciclato), tramite l'accesso a dati primari specifici, veicolati dalla certificazione ambientale di prodotto EPD.

- B.** I progettisti possono scegliere materiali e prodotti a basso

impatto ambientale confrontando prodotti alternativi (di diversi ambiti materici) che svolgano la stessa funzione. Anche in questo caso la condizione ideale è poter fare riferimento a dati primari contenuti nelle EPD, altrimenti è possibile fare riferimento a dati ambientali contenuti nelle banche dati.

**C.** I progettisti possono scegliere materiali e prodotti a basso impatto ambientale confrontando soluzioni tecniche alternative che svolgano la stessa funzione; per esempio impostare un confronto tra due soluzioni di chiusura verticale alternative, assumendo come unità funzionale 1 m<sup>2</sup> di chiusura con trasmittanza termica di 0,3 W/m<sup>2</sup>K. In questo caso occorre ricordare che la parità di prestazione è molto semplificata, poiché si è scelta una prestazione “prevalente” per

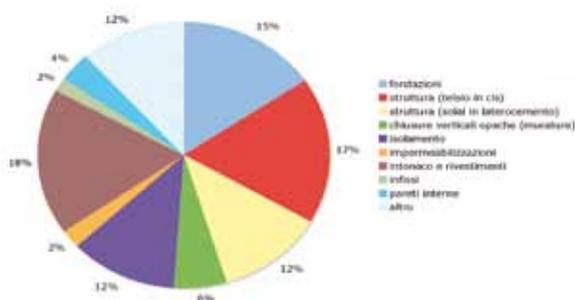
il sistema di chiusura, ma le chiusure oggetto del confronto avranno prestazioni molto differenti di inerzia termica, di isolamento acustico, di resistenza al fuoco ecc.

**D.** La valutazione ambientale può contribuire a ottimizzare la scelta del tipo di materiale (per esempio scegliere un materiale di rivestimento a minor impatto ambientale) e della quantità di materiale da impiegare in una certa soluzione tecnica.

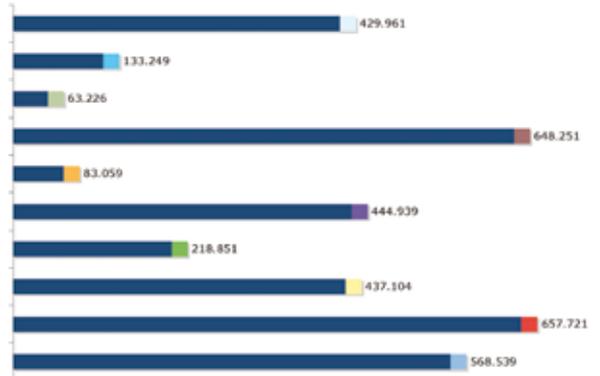
**E.** La valutazione ambientale LCA può consentire di operare un bilancio tra impatti causati dai materiali con cui l'edificio viene realizzato e impatti relativi alla fase d'uso. Tradizionalmente gli impatti relativi alla fase d'uso sono sempre stati più significativi, mentre gli impatti relativi alla produzione dei materiali da costruzione erano meno importanti,

e dunque considerati trascurabili. Recentemente, dal momento che si mira a ottenere edifici sempre più efficienti energeticamente, gli impatti ambientali imputabili ai materiali con cui l'edificio viene realizzato tendono ad aumentare, a causa dell'aumento di impiego di materiale nella costruzione (per esempio per il maggiore spessore di materiale isolante impiegato) e di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, geotermico). Diventa dunque importante verificare se gli impatti ambientali generati per la produzione dei materiali, componenti e sistemi costruttivi utilizzati nelle attività di costruzione di edifici energeticamente efficienti siano inferiori agli impatti evitati grazie ai risparmi energetici ottenuti nella fase d'uso.

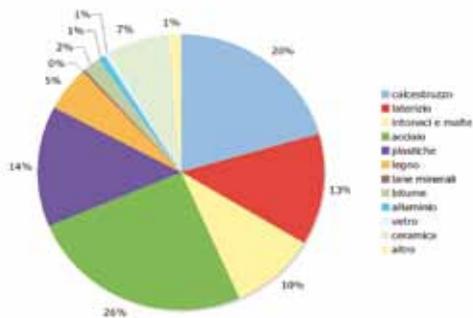
energia incorporata delle parti d'opera dell'edificio 'Leaf House' [mq 470]



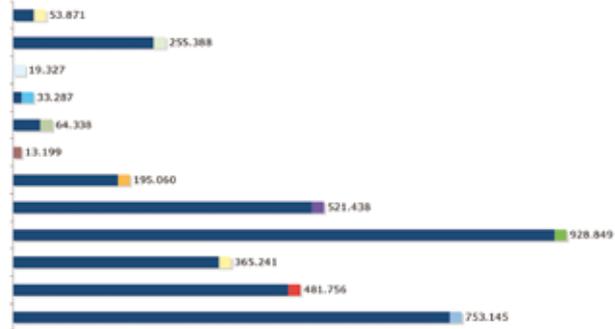
energia incorporata delle parti d'opera dell'edificio 'Leaf House' [mq 470]



energia incorporata per categorie di materiali dell'edificio 'Leaf House' [mq 470]



energia incorporata per categorie di materiali dell'edificio 'Leaf House' [mq 470]



energia incorporata e energia primaria in fase d'uso per diversi scenari temporali dell'edificio 'Leaf House' [mq 470]

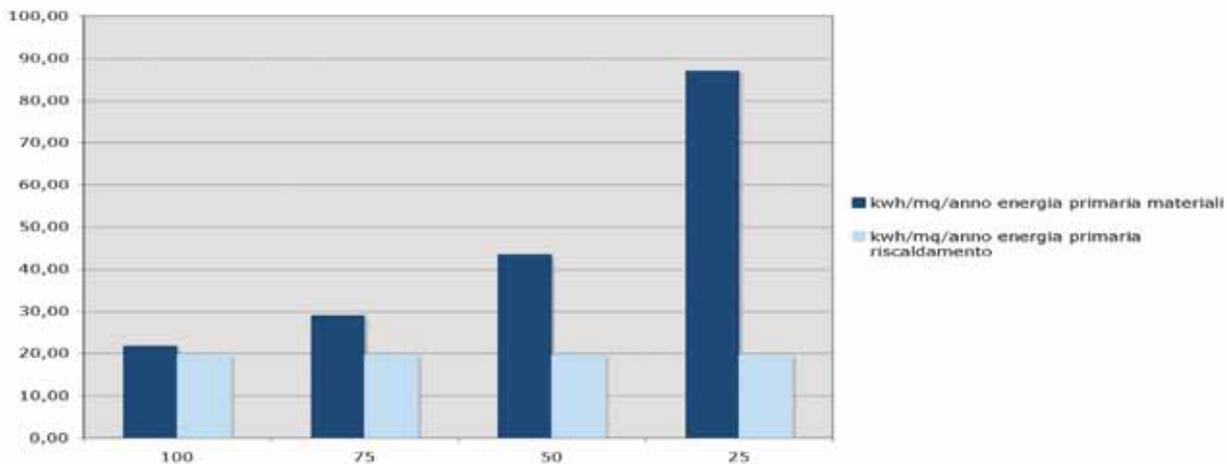


Fig. 12. Valutazioni dell'energia incorporata dell'edificio Leaf House, realizzato in provincia di Ancona. Fonte delle immagini: Campioli A., Giurdanella V., Lavagna M., "Energia per costruire, energia per abitare", *Costruire in laterizio*, n. 134, mar.-apr. 2010, pp. 60-65.

Per esempio, nel caso degli Zero Energy Buildings, spesso l'energia spesa per costruire l'edificio è superiore all'energia spesa durante la fase d'uso. In uno studio relativo alla Leaf House, uno Zero Energy Building costruito in Italia, è stata calcolata l'energia incorporata dei materiali della costruzione impiegati e delle diverse parti d'opera. Ne emerge innanzitutto la notevole incidenza della struttura portante, seguita da intonaci/rivestimenti e isolamento (fig. 12).

I valori di energia incorporata sono stati quindi normalizzati in base alla superficie utile interna dello spazio riscaldato, ottenendo dei valori espressi in MJ/m<sup>2</sup> e suddivisi per diversi scenari temporali (anni). In particolare sono stati scelti gli intervalli 25, 50, 75 e 100 anni, che possono essere considerati rappresentativi della vita utile dell'edificio, ma che al contempo tengono in considerazione anche il fatto che la vita utile dei materiali e dei componenti edilizi è inferiore

alla vita dell'edificio (soprattutto nel caso dei materiali isolanti e dei materiali di rivestimento, la cui incidenza nel bilancio complessivo si è visto essere assai significativa).

I risultati evidenziano che, anche nel caso di normalizzazione su un arco temporale di 100 anni (assunzione che presupporrebbe lo scenario molto improbabile di non dover intervenire con manutenzioni sull'edificio per tutto l'arco temporale dei 100 anni), l'energia incorporata si at-

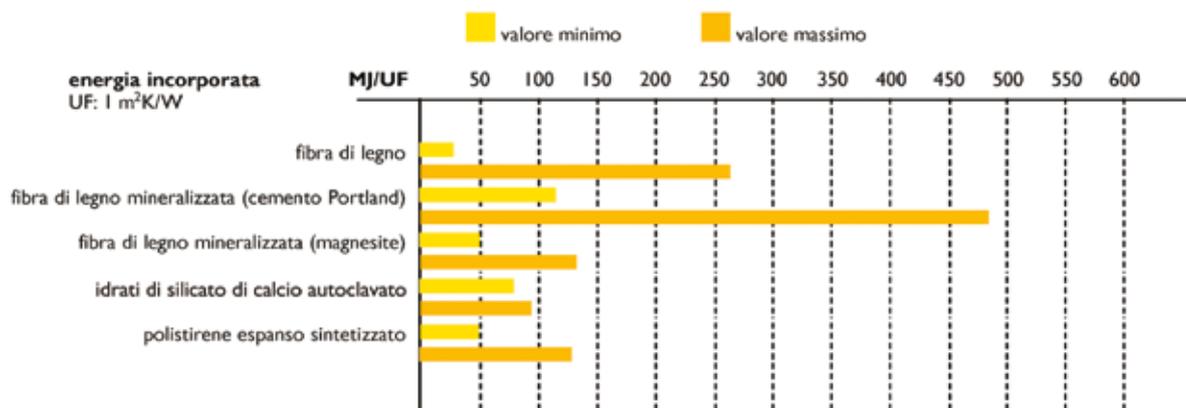
testa comunque sopra i 20 kWh/m<sup>2</sup>a, valore significativo. Dunque l'energia incorporata risulta sempre superiore all'energia spesa in fase d'uso, anche nello scenario temporale dei 100 anni (fig. 12).

a cui determinare la quantità di materiale (flusso di riferimento) oggetto della comparazione LCA. Per esempio la prestazione per paragonare due materiali isolanti può essere la resistenza termica: occorre a questo punto

11 cm (e quindi 2,32 kg) di EPS, 15 cm (e quindi 29 kg) di fibra di legno, 15 cm (e quindi 17 kg) di idrati di silicati di calcio autoclavato (cemento cellulare); di conseguenza l'impatto ambientale dell'EPS e del calcestruzzo auto-

Fig. 13. Comparazione dell'energia incorporata di diversi materiali isolanti, a parità di unità funzionale, considerando i valori massimi e minimi di densità. Fonte: Lavagna M., "Prestazioni termiche e profilo ambientale dei materiali isolanti", *Il Progetto sostenibile*, n. 16, dic. 2007, pp. 68-75.

unità funzionale UF: R=1 m <sup>2</sup> K/W	DENSITA' MINIMA				per kg	per UF	DENSITA' MASSIMA				per kg	per UF
	conduttività termica	spessore	densità	unità funzionale	energia incorporata	energia incorporata	conduttività termica	spessore	densità	unità funzionale	energia incorporata	energia incorporata
λ	s	ρ	UF	PEI	PEI	λ	s	ρ	UF	PEI	PEI	
W/mK	m	kg/m <sup>3</sup>	kg	Mj/Kg	Mj/UF	W/mK	m	kg/m <sup>3</sup>	kg	Mj/kg	Mj/UF	
fibra di legno	0,038	0,04	45	1,71	17,00	29,07	0,052	0,05	300	15,60	17,00	265,20
fibra di legno mineralizzata (cemento Portland)	0,060	0,06	360	21,60	5,40	116,64	0,090	0,09	1000	90,00	5,40	486,00
fibra di legno mineralizzata (magnesite)	0,086	0,09	300	25,80	2,00	51,60	0,107	0,11	625	66,88	2,00	133,75
idrati di silicato di calcio autoclavato	0,042	0,04	100	4,20	18,57	77,99	0,045	0,05	115	5,18	18,57	96,10
polistirene espanso sintetizzato	0,035	0,04	15	0,53	99,20	52,08	0,044	0,04	30	1,32	99,20	130,94



## 2.2. ESEMPI DI VALUTAZIONI COMPARATIVE A PARITÀ DI PRESTAZIONI

I dati ambientali presenti nelle banche dati o nelle certificazioni ambientali vengono espressi in genere in relazione al peso (-/kg) o al volume (-/m<sup>3</sup>), e quindi in relazione alla massa dei materiali. Questi dati non possono essere utilizzati per compiere comparazioni: le valutazioni comparative devono essere fatte a parità di prestazione. Quando si operano dei paragoni tra materiali occorre infatti definire l'unità funzionale di riferimento, ossia la prestazione di riferimento rispetto

definire lo spessore (in relazione alla conducibilità termica) e la quantità di materiale in termini di peso (in relazione alla densità) che sono necessari per assolvere la prestazione attesa. Se si sta facendo un paragone tra prodotti precisi, anche le prestazioni e le densità sono direttamente rapportabili, ma se si fa un confronto tra categorie materiche in generale, occorre tenere in considerazione il range di variabilità sia delle prestazioni sia delle densità (fig. 13).

Per esempio per ottenere una trasmittanza termica di 0,3 W/m<sup>2</sup>K di 1 m<sup>2</sup> di parete occorrono

clavato risultano essere inferiori a quello della fibra di legno grazie al minor flusso di riferimento coinvolto, sfatando la convinzione che i materiali a base vegetale siano più ecologici di quelli sintetici o minerali (fig. 14). Rispetto a questa esemplificazione occorre dire che quando si operano delle valutazioni comparative è fondamentale tenere in considerazione il fatto che i materiali assolvono più prestazioni contemporaneamente, per cui se impostiamo diversamente l'unità funzionale, il risultato ambientale cambia ulteriormente. Tenendo in considerazione che quando



prestazione edificio:  
 resistenza meccanica  
 sicurezza al fuoco  
 igiene, salute e ambiente  
 sicurezza d'impiego  
 protezione acustica  
**resistenza termica**  
 capacità termica

esempio di unità funzionale:  
 resistenza termica

$R = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$

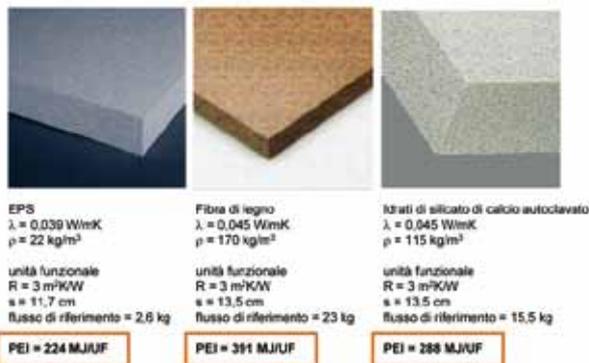


Fig. 14. Comparazione dell'energia incorporata di tre diversi materiali isolanti, a parità di resistenza termica.

si progetta i materiali vengono scelti per comporli all'interno di una soluzione costruttiva che è inserita in un edificio, ci si rende conto che l'interazione tra prestazioni complementari è fondamentale.

Pensando alla scala della soluzione di involucro infatti, **oltre alla resistenza termica è importante anche considerare l'inerzia termica. Rispetto a questa prestazione l'EPS risulta svantaggiato rispetto alla fibra di legno e al calcestruzzo autoclavato**, poiché essendo un materiale a ridotta densità è anche un materiale privo di inerzia termica: di conseguenza l'EPS dovrà essere abbinato a un altro materiale capacitivo per garantire sia la prestazione di isolamento termico

sia la prestazione di capacità termica della soluzione di involucro, mentre la fibra di legno e il calcestruzzo autoclavato assolvono in sé sia la prestazione di isolamento termico sia la prestazione di inerzia termica. Di conseguenza con la fibra di legno e il calcestruzzo autoclavato è possibile con un solo materiale soddisfare due prestazioni contemporaneamente, e quindi dal punto di vista ambientale risulteranno a minor impatto ambientale rispetto all'EPS, che richiede l'aggiunta di altri materiali per soddisfare le prestazioni complessive richieste andando ad aumentare l'impatto ambientale complessivo. Se poi si considerano la prestazione acustica, la resistenza meccanica, la sicurezza al fuoco,

gli aspetti relativi alla salute (es. emissività di VOC), il confronto si articola ulteriormente e l'individuazione della soluzione migliore potrebbe modificarsi. Per questo nei confronti ambientali è importante fare attenzione a considerare le prestazioni complessive offerte dalle soluzioni a confronto.

L'esempio mette in evidenza che non esistono scorciatoie per una scelta ecologicamente orientata dei materiali e che non esistono materiali ecologici a priori: occorre definire la prestazione attesa in relazione al singolo progetto e individuare il materiale a minor impatto ambientale rispetto alla prestazione definita.

### 3. ECOPROFILO LCA DI SOLUZIONI COSTRUTTIVE DI INVOLUCRO IN CALCESTRUZZO AERATO AUTOCLAVATO

Per realizzare gli ecoprofilo delle soluzioni costruttive di involucro in calcestruzzo aerato autoclavato si è fatto riferimento alle EPD dei prodotti Ytong e Multipor disponibili.

#### 3.1. EPD YTONG E MULTIPOR

Il gruppo Xella ha realizzato diverse EPD per i propri prodotti, in contesti differenti in relazione ai diversi stabilimenti produttivi. Germania e Francia sono i due contesti a livello europeo in cui la richiesta di EPD da parte di progettisti e costruttori è più diffusa, perché a livello nazionale viene promossa la valutazione LCA degli edifici basata su EPD tramite gli strumenti di certificazione ambientale DGNB (Germania) e HQE (Francia), e dunque i produttori sono incentivati a certificare i propri prodotti. Le EPD dei prodotti Xella sono contenute nel report di ricerca completo (disponibile su richiesta contattando il servizio tecnico Ytong).

In Germania i prodotti Xella certificati EPD, presso l'IBU, sono: i blocchi Ytong, il pannello isolante minerale Multipor e i pannelli armati Hebel (commercializzati in Italia con il marchio Ytong); tutti prodotti in stabilimenti tedeschi. Le attuali certificazioni tedesche fanno ancora riferimento alla ISO 14025. Le certificazioni sono attualmente in corso di aggiornamento rispetto alla nuova norma EN 15804. Solo per i blocchi Ytong è già disponibile la certificazione EPD aggiornata. All'interno delle EPD è possibile trovare i risultati della valutazione LCA espressi in relazione a 1 m<sup>3</sup> di prodotto.

In Francia esiste una norma di riferimento specifica per le EPD dei prodotti edilizi, la NF P 01-010 sviluppata da AFNOR, e l'EPD viene chiamata *Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire*, promossa da l'Association des Industries de Productions de Construction

(AIMCC) che ha sviluppato una banca dati (INIES) contenente più di 1.000 FDES. La specificità delle EPD francesi è quella di esprimere i dati LCA in relazione all'unità funzionale e non all'unità dichiarata (1 kg o 1 m<sup>3</sup>) come avviene nel resto di Europa. Questa scelta deriva dal fatto di mettere a disposizione dei dati leggibili con più immediatezza dai progettisti. La conversione, se utile, in dati riferiti a 1 kg è comunque fattibile, poiché viene dichiarato il flusso di riferimento (quantità di materiale) dell'unità funzionale considerata. Nel caso della dichiarazione dei prodotti Xella Thermopierre, relativa ai tre stabilimenti produttivi di Mios, Montereau, Saint Savin, l'unità funzionale si riferisce a 1 m<sup>2</sup> di muratura realizzata in blocchi di calcestruzzo cellulare da 25-30-36,5 cm (intonaci esclusi) con resistenza termica di 2,56-3,03-3,63 m<sup>2</sup>K/W e una durata di vita utile ("durée de

vie typique”) di 100 anni. Emerge una ulteriore peculiarità della dichiarazione, ossia il fatto di dichiarare anche la vita utile del prodotto, questione estremamente importante in una LCA, in quanto i processi di manutenzione ed eventuale sostituzione nel tempo dei componenti entrano nel conteggio degli impatti ambientali nel ciclo di vita e dunque conoscere la durata dei componenti è importante per una valutazione dell'efficacia ambientale della soluzione costruttiva.

### **3.2. ECOPROFILO LCA DI SOLUZIONI COSTRUTTIVE DI CHIUSURA VERTICALE YTONG, MULTIPOR, HEBEL**

Al fine di agevolare l'uso dei dati ambientali LCA da parte dei progettisti, vengono in questa sezione presentati gli ecoprofilo (*from cradle to gate*) di soluzioni costruttive di involucro in AAC, espresse già in funzione di 1 m<sup>2</sup> di soluzione costruttiva,

riferita solo allo strato costituito dal prodotto nei diversi spessori commerciali (intonaci esclusi).

Sia nelle banche dati, sia nelle EPD, si trovano dati ambientali espressi in relazione a 1 kg o 1 m<sup>3</sup> di materiale, e occorre poi procedere a una serie di calcoli (in relazione a spessori e densità del prodotto) per ricondursi alla soluzione costruttiva “parete”. In questo caso si intendono invece presentare i dati LCA già in relazione alle prestazioni tecniche della parete (trasmissione, isolamento acustico, ecc.), in modo da affiancare l'informazione ambientale all'informazione tecnica, come ulteriore parametro in mano al progettista al momento della scelta progettuale.

Le soluzioni costruttive esaminate si riferiscono ai principali prodotti Xella: i blocchi Ytong, i pannelli isolanti Multipor, i pannelli armati Hebel.

I dati ambientali LCA sono tratti dalle EPD tedesche, che rispon-

dono agli standard internazionali ISO 14025 e EN 15804.

Si è preferito fare riferimento a dati primari, anche se riferiti a un contesto che non è quello italiano, non essendo ancora stato possibile realizzare una EPD riferita allo stabilimento di Pontenure (PC) dal momento che non sono ancora disponibili adeguati dati di monitoraggio.

I dati relativi ai consumi di energia primaria (PEI) comprendono sia l'energia non rinnovabile sia l'energia rinnovabile.

TIPOLOGIA DI PRODOTTO	DIMENSIONI			PRESTAZIONI TERMICHE			INDICATORI EPD					
	Lunghezza (m)	Altezza (m)	Spessore (m)	Conducibilità termica di progetto (W/mK)	Resistenza termica strato (m <sup>2</sup> K/W)	Trasmittanza termica strato (senza intonaci) (W/m <sup>2</sup> K)	PEI prodotto (MJ/m <sup>2</sup> )	GWP prodotto (kgCO <sub>2</sub> eq./m <sup>2</sup> )	ODP prodotto (10 <sup>-3</sup> CFC-11 eq./m <sup>2</sup> )	POCP prodotto (10 <sup>-5</sup> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./m <sup>2</sup> )	AP prodotto (10 <sup>-4</sup> 50 <sub>2</sub> eq./m <sup>2</sup> )	EP prodotto (10 <sup>-5</sup> PO <sub>4</sub> eq./m <sup>2</sup> )
BLOCCO CLIMAGOLD	62,5	20,0	36,0	0,089	4,04	0,25	458	53	30	534	531	704
	62,5	20,0	40,0	0,089	4,49	0,22	509	59	34	593	590	782
	62,5	20,0	42,0	0,089	4,72	0,21	534	62	35	622	620	822
	62,5	20,0	48,0	0,089	5,39	0,19	611	71	40	711	708	939
BLOCCO CLIMA	62,5	20,0	24,0	0,103	2,33	0,43	356	41	24	415	413	548
	62,5	20,0	30,0	0,103	2,91	0,34	445	51	29	519	517	685
	62,5	20,0	36,0	0,103	3,50	0,29	534	62	35	622	620	822
	62,5	20,0	40,0	0,103	3,88	0,26	594	69	39	692	689	913
BLOCCO THERMO	62,5	25,0	20,0	0,137	1,46	0,69	424	49	28	494	492	652
	62,5	20,0	24,0	0,126	1,90	0,53	458	53	30	534	531	704
	62,5	20,0	30,0	0,126	2,38	0,42	572	66	38	667	664	880
	62,5	20,0	36,0	0,126	2,86	0,35	687	79	45	800	797	1056
	62,5	20,0	40,0	0,126	3,17	0,32	763	88	50	889	886	1174
BLOCCO SISMICO	62,5	20,0	24,0	0,160	1,50	0,67	585	68	39	682	679	900
	62,5	20,0	30,0	0,160	1,88	0,53	731	85	48	852	849	1125
	62,5	20,0	36,0	0,160	2,25	0,44	878	101	58	1023	1018	1350
MULTIPOR	60,0	39,0	5,0	0,045	1,11	0,90	80	6	520	160	115	150
	60,0	39,0	6,0	0,045	1,33	0,75	96	8	624	192	138	180
	60,0	39,0	8,0	0,045	1,78	0,56	129	10	832	256	184	240
	60,0	39,0	10,0	0,045	2,22	0,45	161	13	1040	320	230	300
	60,0	39,0	12,0	0,045	2,67	0,38	193	15	1248	384	276	360
	60,0	39,0	14,0	0,045	3,11	0,32	225	18	1456	448	322	420
	60,0	39,0	16,0	0,045	3,56	0,28	257	20	1664	512	368	480
	60,0	39,0	18,0	0,045	4,00	0,25	289	23	1872	576	414	540
	60,0	39,0	20,0	0,045	4,44	0,23	321	26	2080	640	460	600
	60,0	39,0	22,0	0,045	4,89	0,20	353	28	2288	704	506	660
	60,0	39,0	24,0	0,045	5,33	0,19	386	31	2496	768	552	720
	60,0	39,0	26,0	0,045	5,78	0,17	418	33	2704	832	598	780
	60,0	39,0	28,0	0,045	6,22	0,16	450	36	2912	896	644	840
	60,0	39,0	30,0	0,045	6,67	0,15	482	38	3120	960	690	900
PANNELLO PARETE CLASSE 500	650,0	62,5	25,0	0,130	1,92	0,52	589	65	2595	928	834	1309
	650,0	62,5	30,0	0,130	2,31	0,43	707	78	3114	1113	1001	1571
	650,0	62,5	36,5	0,130	2,81	0,36	860	95	3789	1354	1217	1911
PANNELLO PARETE E SOLAIO CLASSE 550	500,0	62,5	12,5	0,150	0,83	1,20	324	36	1427	510	459	720
	600,0	62,5	15,0	0,150	1,00	1,00	389	43	1713	612	550	864
	700,0	62,5	17,5	0,150	1,17	0,86	453	50	1998	714	642	1008
	750,0	62,5	20,0	0,150	1,33	0,75	518	57	2284	816	734	1152
	800,0	62,5	25,0	0,150	1,67	0,60	648	72	2855	1020	917	1440
	800,0	62,5	30,0	0,150	2,00	0,50	777	86	3425	1224	1101	1728
	800,0	62,5	36,5	0,150	2,43	0,41	946	104	4168	1490	1339	2102

## 4. VALUTAZIONE COMPARATIVA LCA CON SOLUZIONI COSTRUTTIVE CONVENZIONALI

L'analisi comparativa ha coinvolto 14 soluzioni di chiusura verticale suddivise in 3 gruppi:

- chiusure verticali di tamponamento,
- chiusure verticali con muratura portante,
- chiusure verticali a cappotto con differenti tipi di isolamento termico.

Per poter operare una valutazione comparativa LCA è stata scelta come unità funzionale 1 m<sup>2</sup> di soluzione di chiusura verticale con trasmittanza termica omogenea [0,27 W/m<sup>2</sup>K e 0,18 W/m<sup>2</sup>K]. In questo documento viene presentata una sintesi dei risultati: in particolare sono stati selezionati i confronti con trasmittanza termica 0,27 W/m<sup>2</sup>K. Nel report di ricerca completo (disponibile su richiesta contattando il servizio tecnico Ytong) sono illustrati anche i confronti di chiusure verticali di tamponamento e di chiusure verticali portanti con trasmittanza termi-

ca 0,18 W/m<sup>2</sup>K, dove l'andamento dei risultati varia in maniera proporzionale.

Il primo gruppo è costituito dalle chiusure verticali di tamponamento con trasmittanza termica di 0,27 W/m<sup>2</sup>K e ne fanno parte le 4 soluzioni tipologiche elencate a seguire:

- soluzione monostrato con blocco Ytong Klima 350,
- soluzione leggera stratificata a secco con struttura in profili metallici, lastra esterna a matrice cementizia e lastra interna in cartongesso e con isolante interposto in lana di roccia,
- soluzione a doppia parete costituita da un paramento esterno in blocchi di laterizio porizzato e un paramento interno in mattoni forati con interposto un pannello semirigido in lana di roccia,
- soluzione bistrato costituita da blocchi in laterizio porizzato e isolamento a cappotto in

polistirene espanso sinterizzato.

Il secondo gruppo raccoglie le chiusure verticali portanti con livelli di prestazione termica di 0,27 W/m<sup>2</sup>K. Ad essi appartengono le seguenti 5 soluzioni:

- soluzione bistrato con blocco Ytong Sismico 575 e cappotto in pannelli Multipor
- soluzione bistrato con blocco Ytong Thermo 450 e cappotto in pannelli Multipor
- soluzione bistrato con blocco Ytong Klima 350 e cappotto in pannelli Multipor
- soluzione bistrato con blocco in laterizio porizzato e isolamento a cappotto in polistirene espanso sinterizzato
- soluzione stratificata in legno con pannello portante X-lam, cappotto in fibra di legno e controparete isolata su struttura metallica intelaiata con pannelli in cartongesso.

L'ultimo gruppo mette in confronto 5 materiali isolanti appli-

cabili a cappotto su una chiusura verticale in blocchi Ytong Sismico 575 fino a raggiungere una trasmittanza termica di 0,25 W/m<sup>2</sup>K. I 5 materiali sono:

- Ytong Multipor
- polistirene espanso sinterizzato
- lana di roccia
- fibra di legno
- sughero

Ciascun gruppo è stato costituito selezionando le soluzioni di chiusura più frequentemente utilizzate nel panorama edilizio nazionale, in raffronto con le soluzioni costruttive Ytong. L'analisi del profilo ambientale è stata effettuata dopo aver eguagliato la prestazione di trasmittanza termica (unità funzionale) delle soluzioni inserite nella medesima categoria, agendo sullo spessore dell'isolante dopo aver definito il costituente principale della chiusura (tipo di blocco, pannello X-lam, lastre per chiusura a secco). In considerazione del fatto che sul mercato è possibile reperire molteplici prodotti diversi per ogni materiale considerato, ciascuno di essi con caratteristiche termofisiche proprie, risulta particolarmente difficoltoso e avulso dalla realtà condurre una valutazione facendo riferimento ai materiali generici. Per ovviare a questo problema sono stati scelti alcuni prodotti specifici facilmente reperibili sul mercato, dei quali sono state assunte le rela-

tive caratteristiche tecniche, al fine di definire correttamente le quantità di prodotto necessarie al raggiungimento del valore di trasmittanza termica prefissato.

Le quantità di materiale che sono state definite per condurre la valutazione del profilo ambientale delle varie soluzioni sono quindi dipendenti dai valori prestazionali dei prodotti selezionati (le specifiche tecniche e i dati termofisici sono stati assunti dalle schede tecniche dei prodotti selezionati). Sebbene questo tipo di approccio porti a risultati fortemente dipendenti dai prodotti specifici assunti, si è voluto evitare di riferirsi alla categoria materica, in quanto soggetta a oscillazioni anche significative dei valori prestazionali e di densità che avrebbero comportato il dover assumere dei range, rendendo impossibile la comparazione. Il riferirsi a prodotti effettivi di mercato rende più realistico il confronto e simula l'approccio tipico del progettista durante le scelte di progetto. Il confronto qui proposto può ovviamente essere ampliato o aggiornato con eventuali altre soluzioni e prodotti alternativi. Il report di ricerca completo (disponibile su richiesta contattando il servizio tecnico Ytong) illustra la procedura di calcolo consentendo di valutare le prestazioni ambientali di altre soluzioni.

Occorre dunque sottolineare che

i risultati della valutazione comparativa sono strettamente relazionati alle assunzioni relative ai materiali specifici scelti per la comparazione e dunque non possono essere generalizzate.

Per poter impostare i confronti, l'unità funzionale è stata definita assumendo come prestazione prevalente la trasmittanza termica<sup>(11)</sup>, vista l'attuale attenzione ai temi del risparmio energetico. Come si è però dimostrato nel capitolo precedente, focalizzare l'attenzione su un solo parametro prestazionale, necessario per poter dimensionare gli elementi costruttivi al fine del confronto, rischia di non mettere in luce l'insieme delle prestazioni che una soluzione costruttiva garantisce. Per questo sono stati affiancati altri parametri prestazionali di tipo termico, come gli indicatori relativi all'inerzia termica (sfasamento termico, fattore di attenuazione e trasmittanza termica periodica), al fine di permettere una lettura più ampia del comportamento prestazionale delle soluzioni analizzate. Il quadro prestazionale non è ancora completo perché occorrerebbe confrontare anche la prestazione acustica, la resistenza al fuoco, la permeabilità/resistenza al vapore, ecc. Occorrerebbe inoltre fare alcune considerazioni relative **alla durata nel tempo** delle soluzioni costruttive, ma in questo senso si è

<sup>(11)</sup> Per il calcolo della trasmittanza termica sono stati considerati i valori di conducibilità termica specifici dei prodotti selezionati, tenendo conto delle percentuali di maggiorazione previste dalla norma UNI 10351:1994, che tengono conto del contenuto di umidità nelle condizioni medie di esercizio, dell'invecchiamento, dell'installazione, della tolleranza di spessore.

già sottolineato come sia difficile reperire tale informazione nelle dichiarazioni dei produttori.

I dati ambientali per effettuare le valutazioni sono stati assunti dalle dichiarazioni EPD tedesche dei prodotti Xella e dalla banca dati Ecoinvent 2.2 (elaborati con SimaPro 7.3.2 e i metodi EPD2008 e Cumulative Energy Demand) per tutti gli altri prodotti, non essendo disponibili le EPD di tutti i prodotti considerati. Per i prodotti Ytong e Multipor sono stati indicati anche i dati ambientali tratti dalla banca dati Ecoinvent, poiché esiste uno scostamento tra la procedura LCA utilizzata per elaborare le EPD e la procedura LCA utilizzata per i dati ambientali in Ecoinvent, per cui, non avendo la disponibilità di tutte le EPD per gli altri prodotti, si ritiene più significativo il confronto tra i dati LCA da banca dati, per omogeneità nelle modalità di calcolo ed elaborazione delle LCA. I confronti con dati da banca dati sono riquadrati nei seguenti grafici.

Si è comunque ritenuto opportuno illustrare nei grafici anche i risultati elaborati con i dati LCA dei prodotti Xella provenienti da EPD, nella prospettiva che sia questo il dato utile per il confronto tra prodotti, quando tutti i prodotti saranno dotati di EPD.

Si evidenzia che i dati ambientali dei blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato contenuti nella banca dati sono differenti rispetto a quelli estraibili dall'EPD Ytong

proprio perché le assunzioni nel calcolo LCA differiscono. In generale l'EPD costituisce un dato più completo e attuale rispetto al valore contenuto in banca dati (risalente al 2004), e i nuovi standard sulle EPD sono più dettagliati rispetto agli standard sulla procedura LCA nell'indicare cosa deve essere computato nella valutazione. I valori di impatto ambientale riferiti ai pannelli isolanti Multipor sono stati estratti dalla dichiarazione EPD del 2006 e non è stato possibile reperire alcun dato di confronto all'interno della banca dati Ecoinvent.

La valutazione è stata effettuata considerando tutti i principali indicatori ambientali:

- Consumo di energia primaria (PEI), MJ
- Effetto serra (GWP. Global Warming Potential), kg CO<sub>2</sub> eq.
- Riduzione dello strato di ozono (ODP. Ozone Depletion Potential), kg CFC-11 eq.
- Formazione di smog fotochimico (POCP. Photochemical Ozone Creation Potential), kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq.
- Acidificazione di suoli e acque (AP. Acidification Potential of land and water), kg SO<sub>2</sub> eq.
- Eutrofizzazione (EP. Eutrophication Potential), kg (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> eq.

Si è scelto però di presentare nei grafici riassuntivi solo tre indicatori, al fine di semplificare la lettura ai progettisti. Sono stati selezionati i tre indicatori più noti e più significativi in ambito edilizio: consumo di energia (PEI), effetto

serra (GWP) e acidificazione di suoli e acque (AP).

Occorre sottolineare che l'indicatore dell'eutrofizzazione ha tendenzialmente un andamento simile a quello dell'acidificazione, dunque l'omissione non altera la valutazione e il giudizio complessivo. L'indicatore relativo alla riduzione dello strato di ozono è poco significativo in edilizia (i valori sono molto bassi) e soprattutto verifica un impatto causato da sostanze che sono oggetto di una serie di normative cogenti (Protocollo di Montreal e successivi regolamenti europei) che stanno progressivamente introducendo il divieto alla produzione e all'immissione sul mercato delle sostanze che causano la riduzione dello strato di ozono.

Sono necessarie anche alcune precisazioni relative ai valori di consumo di energia primaria.

Innanzitutto occorre sottolineare che nel consumo di energia primaria sono stati conteggiati sia i consumi di energia prodotta da fonte non rinnovabile, sia i consumi di energia prodotta da fonte rinnovabile. Per distinguere questi due tipi di fonte, nei grafici la quota di consumo di energia primaria da fonte rinnovabile viene evidenziata con un tratteggio laddove ha una incidenza significativa (superiore al 10%).

Va precisato inoltre che nel consumo di energia primaria è compresa l'energia *feedstock* (in accordo con le norme ISO 14040),

ossia il contenuto energetico dei materiali potenzialmente combustibili, impiegati nei processi analizzati lungo il ciclo di vita come materiali e non come combustibili, calcolato in base al potere calorifico superiore, potenzialmente recuperabile a fine vita. Il legno, le plastiche, i prodotti organici utilizzati nell'industria petrolchimica contengono energia *feedstock*, mentre i minerali e i metalli no. L'importanza di conteggiare questo valore risiede nel fatto che

viene conteggiato lo "stoccaggio" di una risorsa che potenzialmente poteva essere usata per produrre energia e invece viene "congelata" in un materiale da costruzione, quindi temporaneamente destinata ad altri usi. L'energia *feedstock* può essere recuperata a fine vita tramite termovalorizzazione del materiale. Infatti in un bilancio LCA completo, l'energia *feedstock* "consumata" a inizio vita viene bilanciata dall'energia "prodotta" dalla combustione del materiale a fine

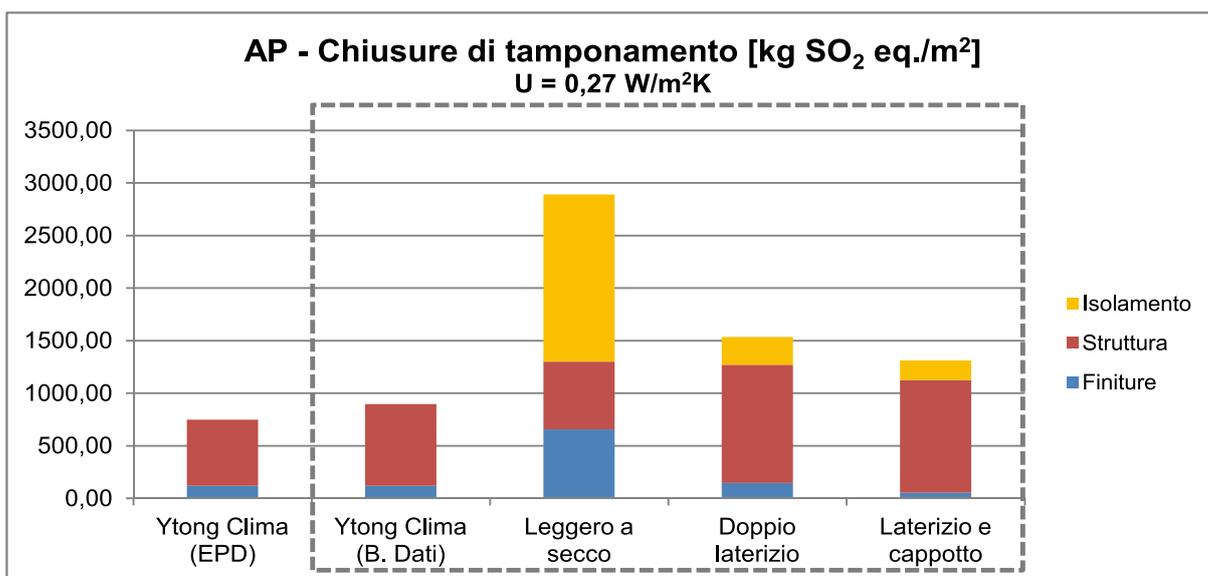
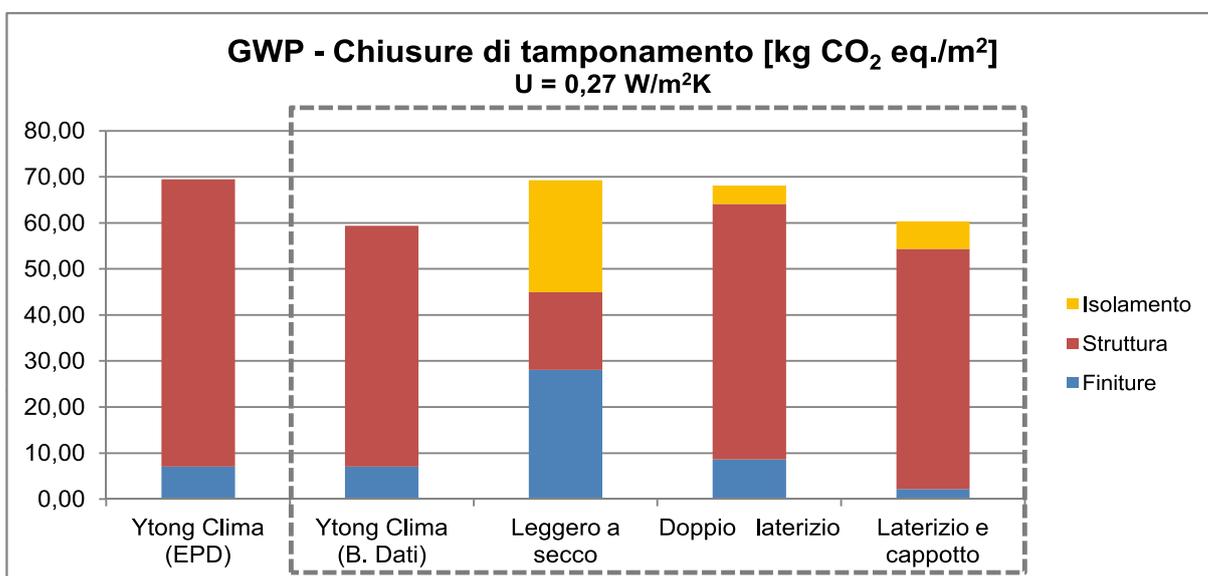
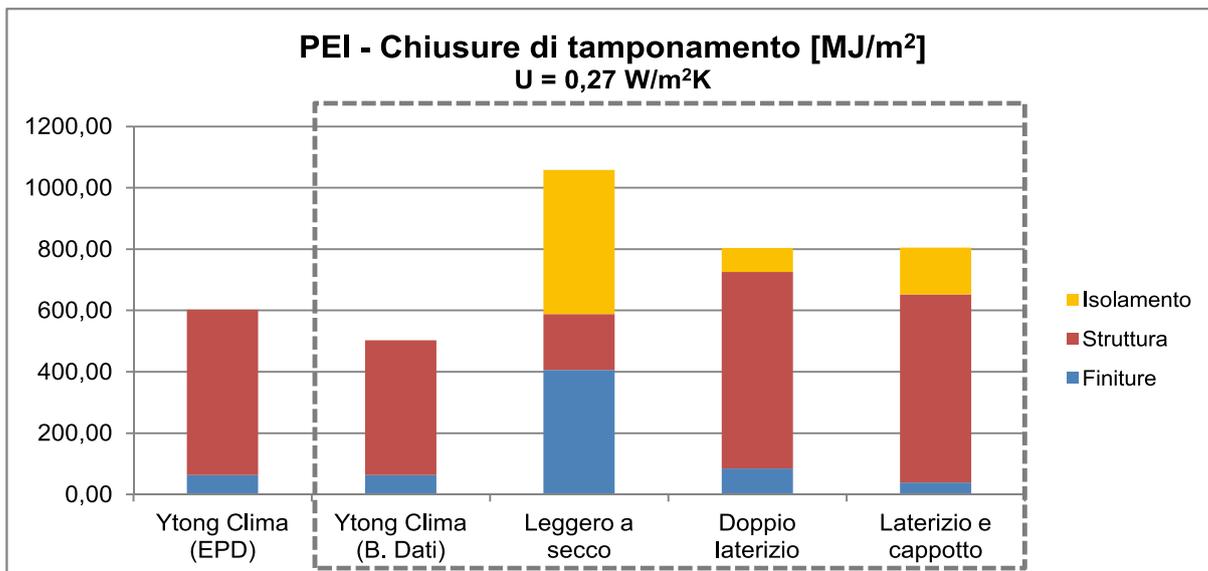
vita (se si ipotizza come scenario di fine vita la termovalorizzazione), portando il bilancio complessivo a zero. Nel caso di recupero energetico a fine vita, si ottiene dunque un vantaggio ambientale dal punto di vista del bilancio di energia, ma occorre precisare che devono essere conteggiate le emissioni prodotte a fine vita dalla combustione stessa e dunque viene peggiorato il bilancio ambientale per esempio del GWP e degli altri indicatori di impatto legati alle emissioni in aria.

#### 4.1. CONFRONTO LCA TRA SOLUZIONI COSTRUTTIVE ALTERNATIVE DI CHIUSURA VERTICALE CON TRASMITTANZA TERMICA 0,27 W/M<sup>2</sup>K

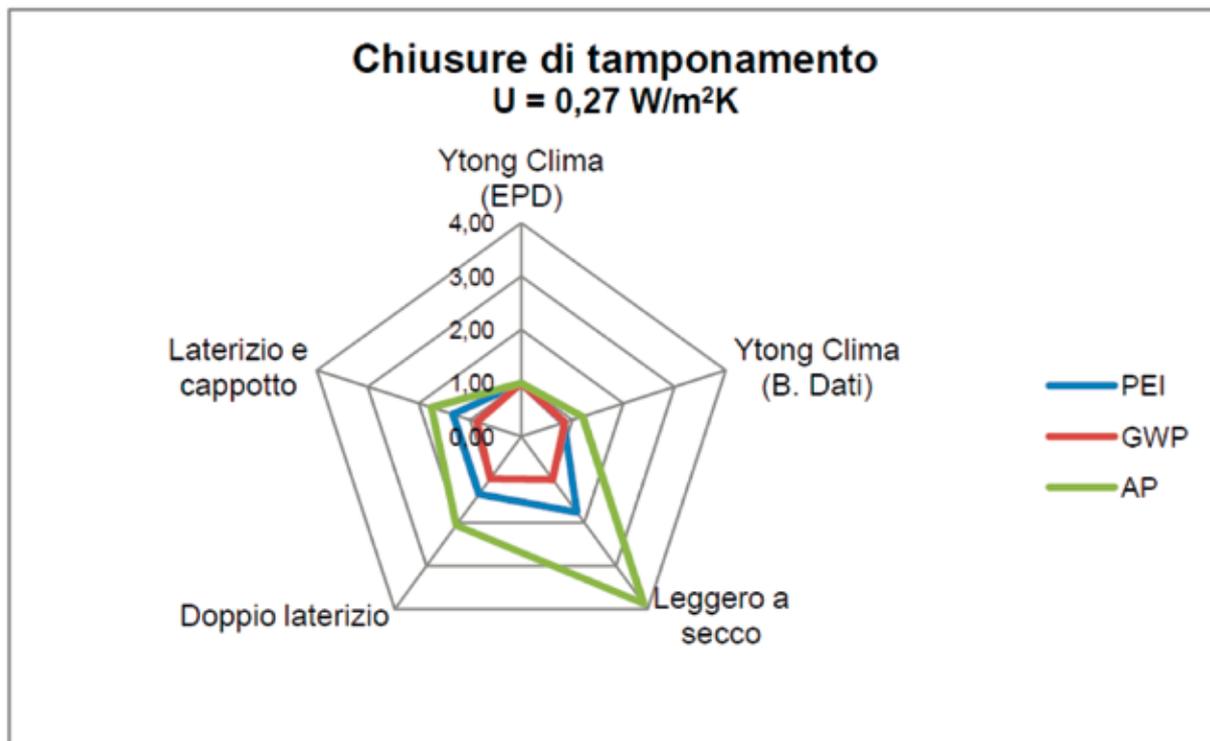
CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI DI TAMPONAMENTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,27 W/m <sup>2</sup> K			Conducibilità termica (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m <sup>2</sup> K/W)	Resistenza termica chiusura (m <sup>2</sup> K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato								
<b>BLOCCO YTONG CLIMA</b> (Dato EPD tedesca)	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,77	0,27	14,51	0,15	0,04
	Strato 2	Rasatura armata di finitura Ytong	0,330	0,003	0,01					
	Strato 3	Intonaco di fondo Ytong	0,330	0,015	0,05					
	Strato 4	Blocco Ytong Clima 350	0,103	0,360	3,50					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO YTONG CLIMA</b> (Dato banca dati)	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,77	0,27	14,51	0,15	0,04
	Strato 2	Rasatura armata di finitura Ytong	0,330	0,003	0,01					
	Strato 3	Intonaco di fondo Ytong	0,330	0,015	0,05					
	Strato 4	Blocco Ytong Clima 350	0,103	0,360	3,50					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>CHIUSURA LEGGERA A SECCO</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,76	0,27	6,25	0,63	0,17 (1)
	Strato 2	Rasante cementizio per lastre	0,290	0,005	0,02					
	Strato 3	Lastra Aquapanel	0,350	0,013	0,04					
	Strato 4	Pannello rigido in lana di roccia	0,044	0,080	1,82					
	Strato 5	Lastra in cartongesso	0,200	0,013	0,06					
	Strato 6	Intercapedine non ventilata	0,163	0,030	0,18					
	Strato 7	Pannello rigido in lana di roccia	0,044	0,060	1,35					
	Strato 8	Lastra in cartongesso	0,200	0,013	0,06					
	Strato 9	Lastra in cartongesso	0,200	0,013	0,06					
	Strato 10	Strato liminare interno			0,13					
<b>DOPPIA PARETE IN LATERIZIO CON ISOLAMENTO INTERPOSTO</b> (2)	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,73	0,27	14,41	0,12	0,03
	Strato 2	Intonaco di finitura in calce e cemento	0,400	0,003	0,01					
	Strato 3	Intonaco di fondo in calce e cemento	0,550	0,010	0,02					
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 20x50x19	0,227	0,200	0,88					
	Strato 5	Rinzafo in calce e cemento	0,830	0,010	0,01					
	Strato 6	Pannello semirigido in lana di roccia	0,039	0,090	2,34					
	Strato 7	Mattoni forati in laterizio 8x24x24	0,280	0,080	0,29					
	Strato 8	Intonaco in calce e gesso	0,700	0,015	0,02					
	Strato 9	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO IN LATERIZIO RETTIFICATO E CAPPOTTO</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,77	0,27	14,64	0,07	0,02
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00					
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,040	0,080	2,02					
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 25x30x19,9	0,161	0,250	1,55					
	Strato 5	Intonaco in calce e gesso	0,700	0,015	0,02					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					

(1) Il valore di trasmittanza termica periodica è oltre il limite di legge pari a 0.12. Per rientrare nei valori minimi di legge di trasmittanza termica periodica, occorrerebbe incrementare gli spessori di isolante e dunque aumentare la quantità di materiale; questo comporterebbe un ulteriore aumento dell'impatto ambientale.

(2) Nella soluzione a doppia parete in laterizio, il paramento esterno è costruito con blocchi in laterizio porizzato con uno spessore di 20 cm al fine di consentire la posa a sbalzo sul filo della soletta strutturale e ricavare un congruo spessore in corrispondenza di pilastri e travi di bordo atto alla risoluzione parziale dei ponti termici. Tale soluzione costruttiva risulta essere in ogni caso critica per quanto riguarda la stabilità sismica fuori piano della parete.



Nel riquadro tratteggiato sono contenuti i grafici costruiti a partire dai dati da banca dati.



Dal confronto emerge che le soluzioni costruttive di chiusura verticale di tamponamento realizzate in calcestruzzo aerato autoclavato Ytong hanno un comportamento ambientale vantaggioso rispetto alle altre, grazie alla densità ridotta rispetto agli altri elementi in muratura. Nel caso della chiusura leggera a secco, al ridotto impatto relativo alla struttura (telaio) corrisponde però un innalzamento degli impatti legato ai pannelli prefabbricati di rivestimento e alla notevole quantità di materiale isolante tipicamente utilizzata in queste soluzioni. Per l'isolante è stata scelta una densità elevata

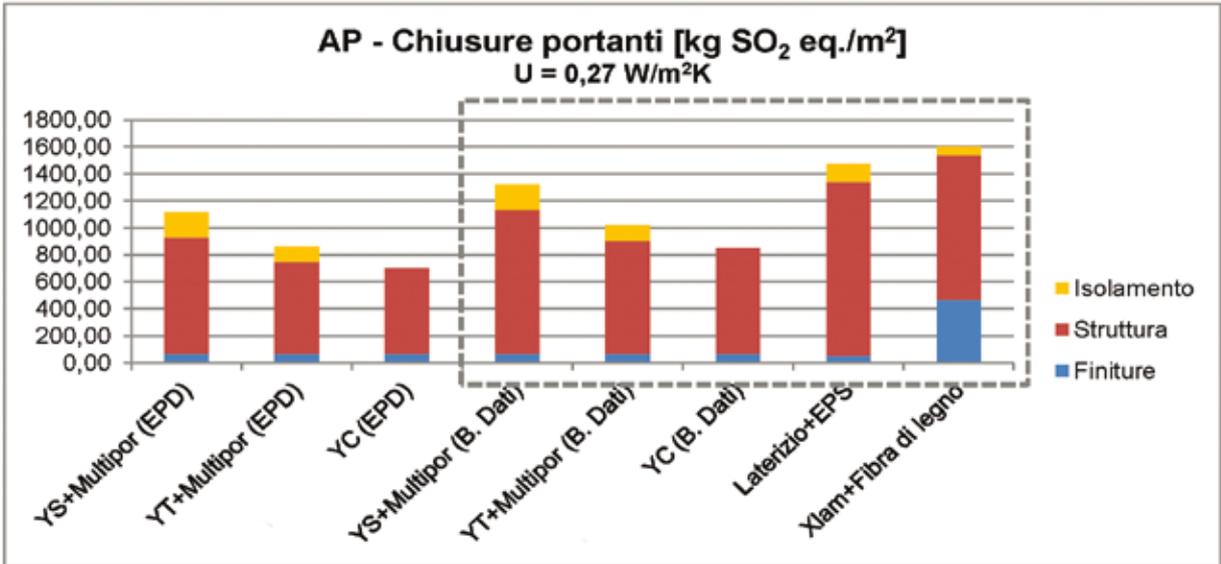
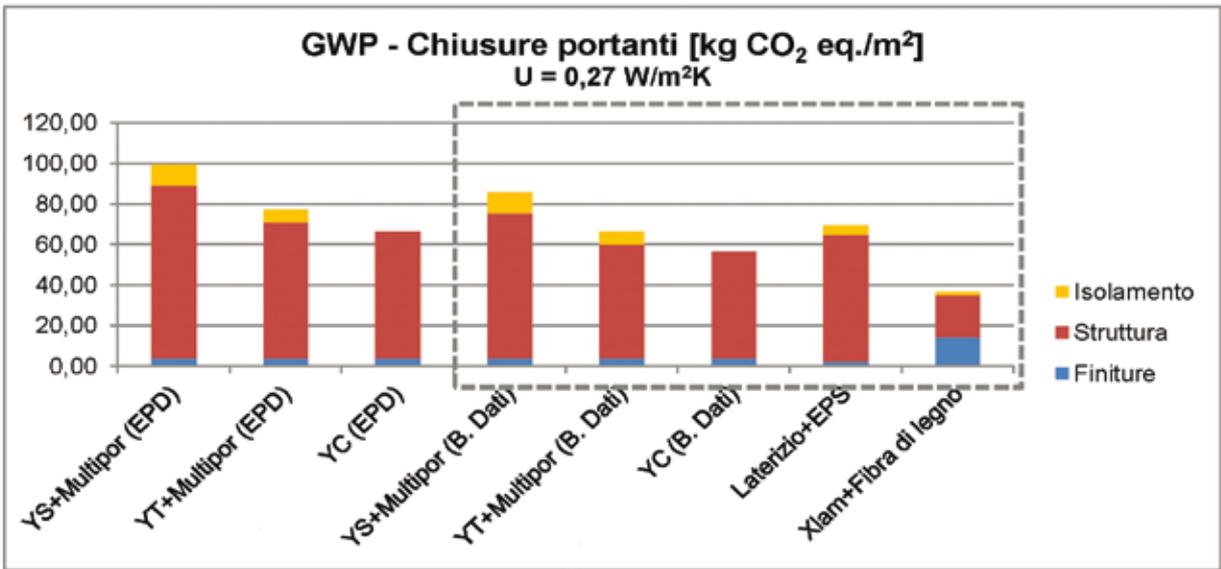
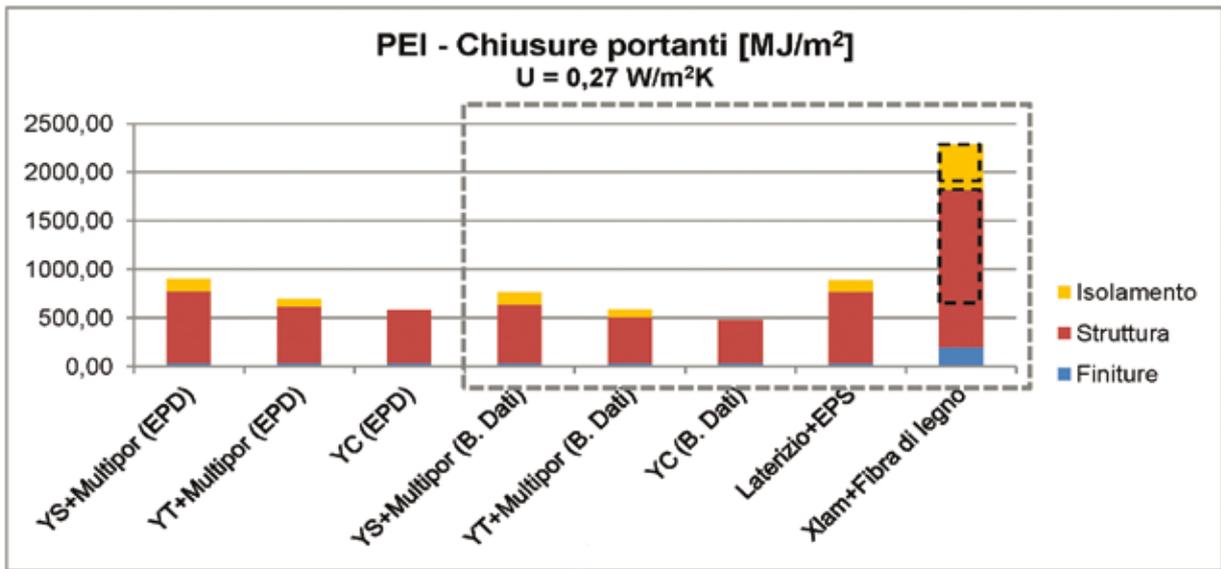
(che quindi rende ancora più significativi gli impatti) per cercare di conferire una accettabile prestazione di inerzia termica. I valori però non sono pienamente soddisfacenti e rimangono al di sopra dei limiti normativi di trasmittanza termica periodica (va sottolineato che le soluzioni leggere essendo costituite prevalentemente da materiale isolante tipicamente vengono utilizzate con spessori maggiori e prestazioni superiori; la trasmittanza termica di riferimento in questo confronto ha portato a definire una soluzione tecnica atipica, con spessori ridotti e dunque scarsa prestazione di inerzia termica).

Per rientrare nei valori minimi di legge di trasmittanza termica periodica, occorrerebbe incrementare gli spessori di isolante e dunque aumentare la quantità di materiale; questo comporterebbe un ulteriore aumento dell'impatto ambientale.

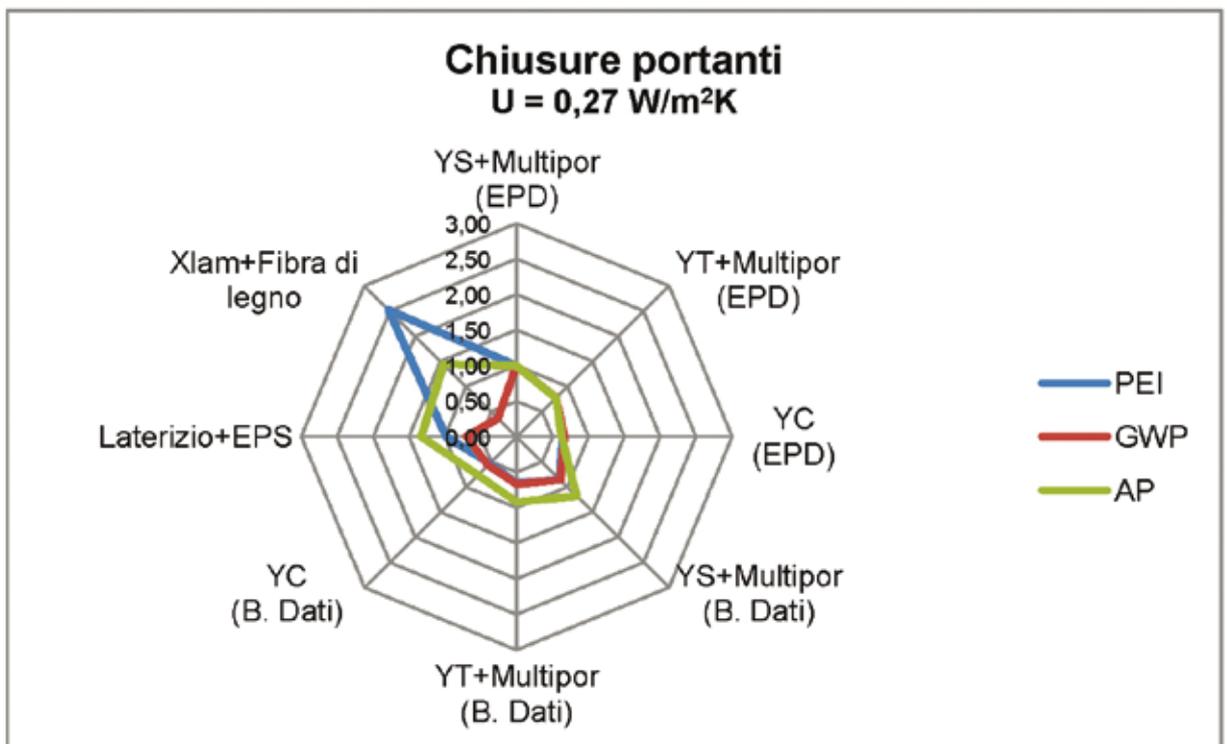
L'indicatore più penalizzante per il calcestruzzo aerato autoclavato è l'effetto serra (GWP), a causa del processo produttivo della componente cementizia. Se si fa riferimento però al dato da banca dati, la soluzione rimane la più vantaggiosa dal punto di vista ambientale.

## 4.2. CONFRONTO LCA TRA SOLUZIONI COSTRUTTIVE ALTERNATIVE DI CHIUSURA VERTICALE PORTANTE CON TRASMITTANZA TERMICA 0,27 W/M<sup>2</sup>K

CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI PORTANTI CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,27 W/m <sup>2</sup> K							Conducibilità termica (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m <sup>2</sup> K/W)	Resistenza termica chiusura (m <sup>2</sup> K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato												
Dati da EPD Xella tedesca	<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,080	1,78								
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,300	1,88	3,88		0,26	15,62	0,07	0,02		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,050	1,11								
		Strato 4	Blocco Ytong Thermo 450	0,126	0,300	2,38	3,72		0,27	14,43	0,11	0,03		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO YTONG CLIMA E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,000	0,00								
		Strato 4	Blocco Ytong Clima 350	0,103	0,360	3,50	3,72		0,27	14,08	0,15	0,04		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,080	1,78								
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,300	1,88	3,88		0,26	15,62	0,07	0,02		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,050	1,11								
		Strato 4	Blocco Ytong Thermo 450	0,126	0,300	2,38	3,72		0,27	14,43	0,11	0,03		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO YTONG CLIMA</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02								
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,000	0,00								
		Strato 4	Blocco Ytong Clima 350	0,103	0,360	3,50	3,72		0,27	14,08	0,15	0,04		
		Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>BLOCCO IN LATERIZIO RETTIFICATO E CAPPOTTO</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00								
		Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,040	0,060	1,52								
		Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 30x24x19,9	0,150	0,300	2,00	3,71		0,27	17,65	0,04	0,01		
		Strato 5	Intonaco in calce e gesso	0,700	0,015	0,02								
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13								
Dati da Banca Dati	<b>CHIUSURA A SECCO IN LEGNO CON PANNELLO XLAM</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04								
		Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00								
		Strato 3	Pannelli in fibra di legno	0,052	0,100	1,94								
		Strato 4	Pannello in legno xlam	0,120	0,100	0,83	3,73		0,27	13,02	0,13	0,03		
		Strato 5	Pannello in fibra di legno flessibile	0,046	0,030	0,66								
		Strato 6	Doppia lastra in cartongesso	0,200	0,025	0,13								
		Strato 7	Strato liminare interno			0,13								



Nel riquadro tratteggiato sono contenuti i grafici costruiti a partire dai dati da banca dati.



Nelle barre relative all'energia primaria (PEI) è stato messo in evidenza con un tratteggio il contributo delle energie di tipo rinnovabile.

Dal confronto emerge che le soluzioni costruttive di chiusura verticale portante realizzate in calcestruzzo aerato autoclavato Ytong Thermo e Klima (idonee per zone a bassa sismicità) hanno un comportamento ambientale vantaggioso rispetto alle altre, grazie alla densità ridotta rispetto agli altri elementi in muratura. Più critica è la soluzione con Ytong Sismico, poiché si tratta di quella a maggiore densità. Dal punto di vista dell'effetto ser-

ra (GWP), la soluzione in X-lam è quella a minor impatto ambientale, in quanto viene conteggiata l'anidride carbonica assorbita dalla pianta durante la crescita, per cui il legno risulta essere in assoluto il materiale più avvantaggiato rispetto a questo indicatore. Occorre precisare che, se si ipotizza come scenario di fine vita la termovalorizzazione, devono essere computate nel bilancio le emissioni prodotte dal processo di combustione, innalzando nuovamente il bilancio del GWP.

L'X-lam presenta impatti elevati per quanto riguarda l'acidificazione (AP), a causa dell'uso di composti di azoto per favorire la

crescita delle foreste, dell'uso prevalente di energia elettrica nel processo produttivo (impatto legato alla produzione da termoelettrico) e della produzione e uso di collanti.

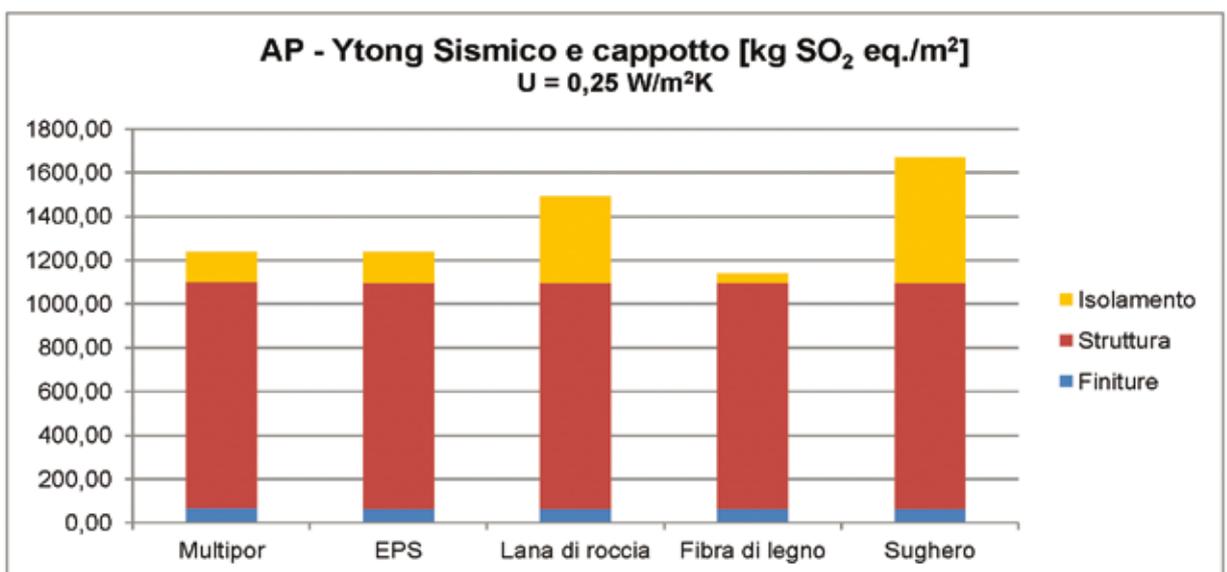
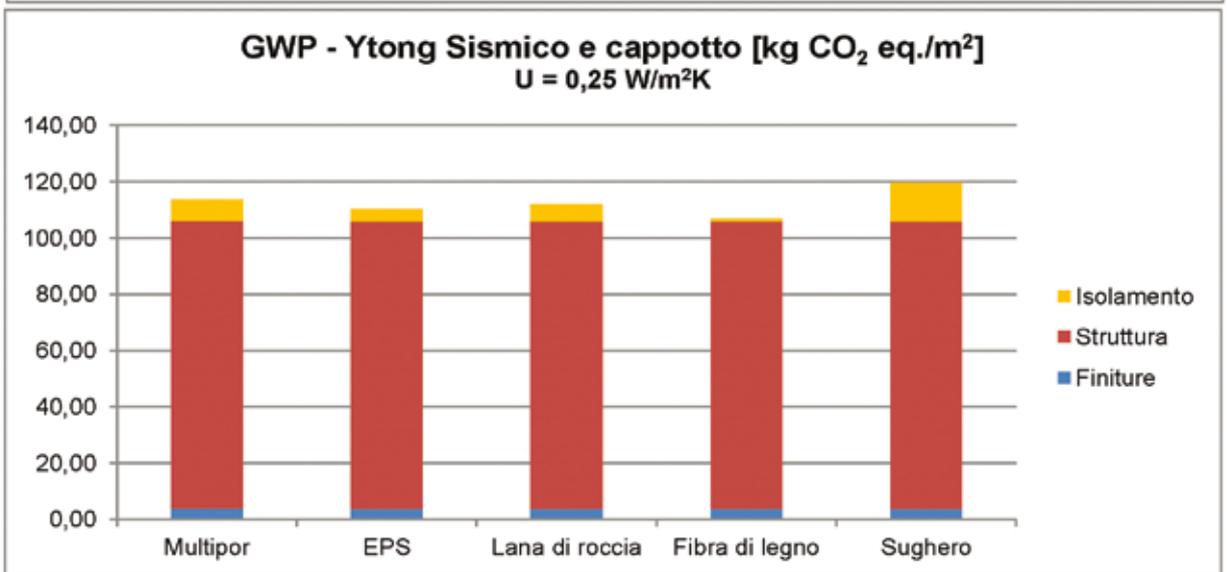
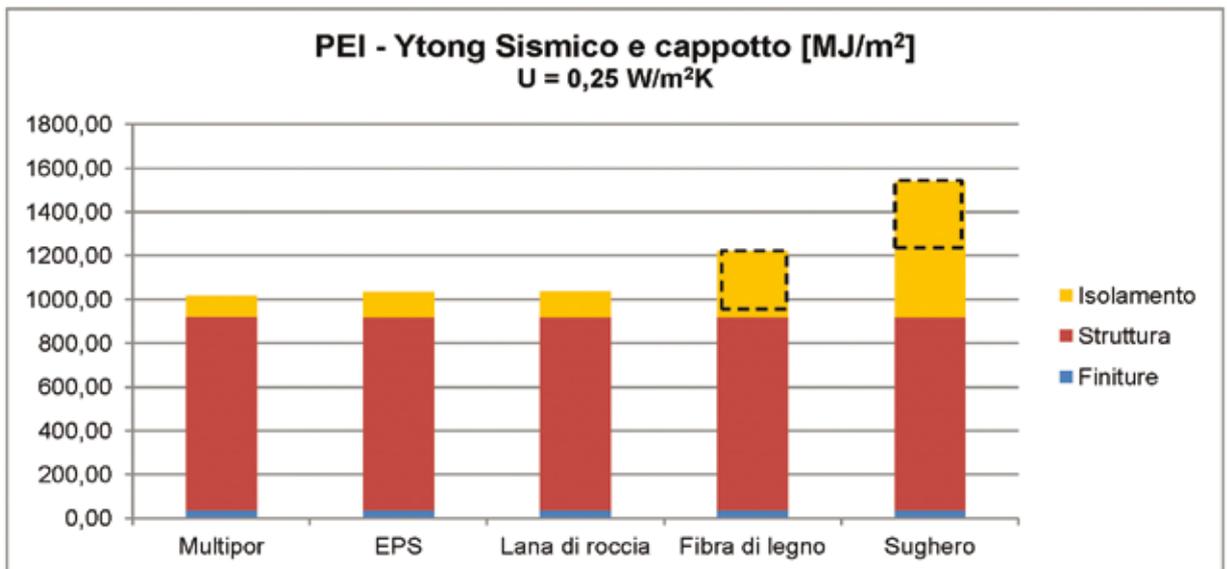
L'X-lam inoltre presenta un valore particolarmente elevato di energia primaria rinnovabile (evidenziata dal tratteggio) poiché in questo valore è compresa, oltre al consumo energetico di pre-produzione e produzione<sup>[12]</sup>, l'energia *feedstock*.

Come illustrato a pag. 30, tale energia può essere scomputata dal bilancio se si ipotizza come scenario di fine vita la termovalorizzazione.

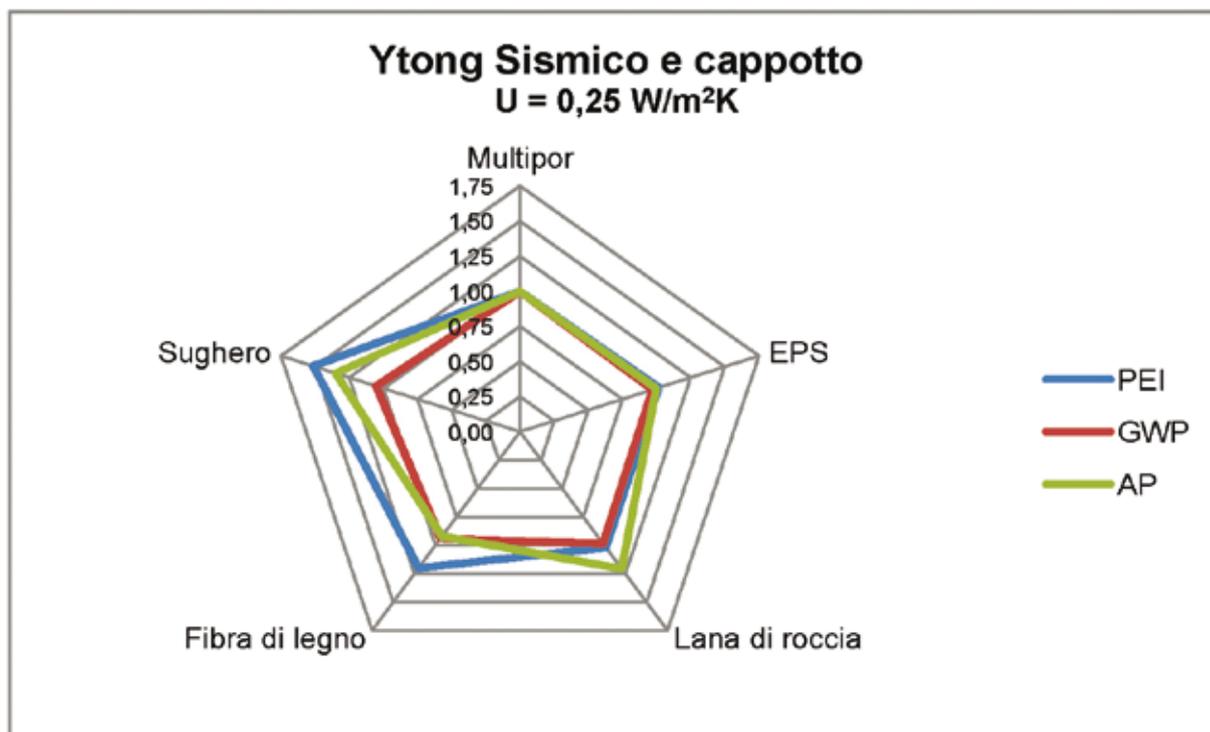
<sup>[12]</sup> Tipicamente nella filiera produttiva del legno vengono utilizzati gli scarti del legno come combustibile nel processo produttivo. Per questo l'energia consumata nei processi di produzione del legno e derivati è prevalentemente da fonte rinnovabile.

### 4.3 CONFRONTO LCA TRA SOLUZIONI ALTERNATIVE DI ISOLAMENTO TERMICO PER CHIUSURA VERTICALE PORTANTE CON TRASMITTANZA TERMICA 0,25 W/M<sup>2</sup>K

CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI CON BLOCCO SISMICO E CAPPOTTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,25 W/m <sup>2</sup> K			Conducibilità termica (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m <sup>2</sup> K/W)	Resistenza termica chiusura (m <sup>2</sup> K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m <sup>2</sup> K)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato								
<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,81	0,26	17,69	0,05	0,01
	Strato 2	Rasatura armata con malta leggera Multipor	0,300	0,006	0,02					
	Strato 3	Pannelli isolanti Multipor	0,045	0,060	1,33					
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,360	2,25					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN EPS</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,98	0,25	17,07	0,05	0,01
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00					
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,040	0,060	1,52					
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,360	2,25					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN LANA DI ROCCIA</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,98	0,25	17,46	0,04	0,01
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00					
	Strato 3	Pannello rigido in lana di roccia	0,040	0,060	1,52					
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,360	2,25					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN FIBRA DI LEGNO</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	4,01	0,25	18,96	0,04	0,01
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00					
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno	0,052	0,080	1,55					
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,360	2,25					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					
<b>BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN SUGHERO</b>	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	3,91	0,26	19,10	0,04	0,01
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,003	0,00					
	Strato 3	Pannelli in sughero biondo naturale	0,048	0,070	1,45					
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,160	0,360	2,25					
	Strato 5	Intonaco interno Ytong	0,330	0,012	0,04					
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13					



Nelle barre relative all'energia primaria (PEI) è stato messo in evidenza con un tratteggio il contributo delle energie di tipo rinnovabile.



Complessivamente, l'isolante minerale Multipor ha un impatto ambientale simile a EPS e lana di roccia, anche se quest'ultima ha un impatto molto più elevato per quanto riguarda l'acidificazione. La fibra di legno e il sughero presentano un valore particolarmente elevato di energia primaria rinnovabile (evidenziata dal tratteggio) poiché in questo valore è compresa, oltre al consumo energetico di pre-produ-

zione e produzione<sup>[13]</sup>, l'energia *feedstock*.

Come illustrato a pag. 36, tale energia può essere scomputata dal bilancio se si ipotizza come scenario di fine vita la termovalorizzazione.

Dal punto di vista dell'effetto serra (GWP), la fibra di legno risulta essere la soluzione a minor impatto ambientale, in quanto viene conteggiata l'anidride carbonica assorbita dalla pianta durante la

crescita a parziale compensazione degli impatti prodotti in fase di produzione. Anche il sughero risulta avvantaggiato da questo punto di vista, ma gli impatti di produzione rimangono comunque consistenti.

Complessivamente il sughero è il materiale isolante a maggior impatto ambientale, a riprova che il concetto di "naturale" o di "rinnovabile" non è sufficiente a garantire ridotti impatti sull'ambiente.

<sup>[13]</sup> Tipicamente nella filiera produttiva del legno vengono utilizzati gli scarti del legno come combustibile nel processo produttivo. Per questo l'energia consumata nei processi di produzione del legno e derivati è prevalentemente da fonte rinnovabile.



**YTONG**

**Xella Italia S.r.l.**

Via Zanica 19K

Località Padergnone

24050 Grassobbio (BG)

Per informazioni:

Numero Verde: 800 88 00 77

Fax Verde: 800 33 66 22

Tel.: 035 452 22 72

Fax: 035 423 33 50

[www.ytong.it](http://www.ytong.it)

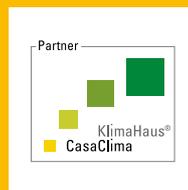
[ytong-it@xella.com](mailto:ytong-it@xella.com)

Documento realizzato in collaborazione con il Dipartimento ABC (*Architecture, Built Environment and Construction Engineering*) del Politecnico di Milano sul tema della caratterizzazione ambientale dei sistemi costruttivi YTONG e Multipor prodotti dal gruppo Xella.



Questo prodotto è stato stampato con tecnologie digitali ecosostenibili, su carta riciclata e con inchiostro a base di sostanze vegetali.

**Crediamo nella diffusione  
di una cultura dell'edilizia sostenibile:**



Ytong®, Multipor® e Xella® sono marchi registrati di Xella Group.

**Nota:** La presente brochure è edita dalla Xella Italia S.r.l. I dati e le indicazioni contenute nella presente brochure e in tutte le nostre pubblicazioni hanno carattere esclusivamente esemplificativo ed informativo e rispondono agli standard attuali della tecnica delle costruzioni Ytong al momento della stampa. I dati e le indicazioni riportati nella presente brochure possono essere cambiati o aggiornati da Xella Italia S.r.l. in qualsiasi momento senza preavviso e a sua disposizione. Il cliente non è esonerato dall'obbligo di verificare i dati e di adeguarsi alle normative vigenti, anche a livello locale, alla data dell'acquisto o dell'utilizzo dei materiali, nonché dall'obbligo del controllo statico, che deve essere necessariamente eseguito da un progettista autorizzato. In riferimento alla normativa europea REACH, Xella Italia S.r.l. dichiara di non integrare nelle sue produzioni prodotti che, in normali condizioni di utilizzo, liberano nell'ambiente delle sostanze chimiche. **Edizione 2014\_2**

BrSostPolit/G&G/09/14/0000/1