

Politecnico di Milano
Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito
ABC Architecture, Built Environment and Construction Engineering

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

INFORMAZIONE AMBIENTALE E PROFILO LCA DEI SISTEMI COSTRUTTIVI YTONG E MULTIPOR

Misurare l'impatto ambientale.



COSTRUIRE IL FUTURO, RIQUALIFICARE L'ESISTENTE

multipor®

YTONG®

Politecnico di Milano

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito
ABC Architecture, Built Environment and Construction Engineering

Report di ricerca

Misurare l'impatto ambientale.

Informazione ambientale e profilo LCA dei sistemi costruttivi Ytong e Multipor

Responsabili scientifici

prof. Andrea Campioli, prof. Monica Lavagna

Autori

prof. Andrea Campioli, prof. Monica Lavagna, arch. Michele Paleari

dicembre 2016

Crediamo nella diffusione di una cultura dell'edilizia sostenibile

Sostenibilità ambientale dei sistemi costruttivi minerali Ytong e Multipor – Soluzioni tecniche a confronto

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.

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.

Xella Italia S.r.l.

Indice

1. La valutazione ambientale degli edifici e dei prodotti edilizi	p. 05
1.1. <i>La valutazione Life Cycle Assessment (LCA)</i>	p. 06
1.2. <i>La durata dei componenti</i>	p. 08
1.3. <i>Le dichiarazioni EPD</i>	p. 08
2. L'impiego dei risultati di una valutazione LCA o di un EPD nel progetto	p. 09
3. Ecoprofilo LCA di soluzioni costruttive in calcestruzzo aerato autoclavato	p. 11
3.1. <i>EPD Ytong e Multipor</i>	p. 11
3.2. <i>Le nuove EPD Ytong e Multipor</i>	p. 12
3.3. <i>Ecoprofilo LCA di soluzioni costruttive Ytong e Multipor</i>	p. 14
4. Valutazione comparativa LCA con soluzioni costruttive convenzionali	p. 16
4.1. <i>Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale di tamponamento</i>	p. 20
4.2. <i>Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale portante</i>	p. 28
4.3. <i>Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante</i>	p. 34
4.4. <i>Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante con sfasamento termico di 16,5 ore</i>	p. 40
4.5. <i>Confronto LCA tra soluzioni alternative di partizione interna</i>	p. 42

Introduzione

Il presente documento riporta i risultati conseguiti nell'attività di ricerca condotta presso il Dipartimento ABC (*Architecture, Built Environment and Construction Engineering*) del Politecnico di Milano nel 2013 da Andrea Campioli, Monica Lavagna e Michele Paleari e aggiornati nel 2016. I motivi dell'attività di revisione sono stati determinati dalle variazioni che nel corso degli ultimi anni hanno interessato i sistemi costruttivi Ytong e Multipor prodotti dal gruppo Xella, tanto dal punto di vista di alcune prestazioni tecniche quanto in merito al loro profilo ambientale.

La ricerca si propone di fornire a progettisti ed operatori del settore edilizio un documento di orientamento progettuale e di supporto informativo in merito alla 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 implicazioni 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 CO₂ 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 caratteristiche di sostenibilità ambientale relative al prodotto. In particolare la ricerca illustra la valutazione ambientale di diverse soluzioni tecniche in calcestruzzo aerato autoclavato AAC (*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 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 dei prodotti Xella e dalla banca dati Ecoinvent 3 (elaborati con i metodi *EPD2013* e *Cumulative Energy Demand*).

L'impianto della ricerca condotta nel 2013 è stato mantenuto, ma sono stati aggiornati gli aspetti tecnologici relativi ai prodotti e alle soluzioni costruttive, modificando le prestazioni termiche delle chiusure al fine di corrispondere a una richiesta di prestazioni di isolamento termico sempre più elevate. Allo stesso tempo, il profilo ambientale dei prodotti Xella è stato aggiornato a seguito della pubblicazione di nuove EPD, che rendono merito alle politiche ambientali condotte dall'azienda, e in particolare della nuova certificazione relativa al recente impianto di Pontenure (PC), nel quale sono prodotti i componenti commercializzati sul territorio italiano. A differenza di quanto avveniva fino allo scorso anno, ora è quindi disponibile la dichiarazione EPD relativa ai blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato prodotti e commercializzati in Italia.

1. La valutazione ambientale degli edifici e dei prodotti edilizi

Superata la pressione dovuta dall'entrata in vigore della normativa sull'efficienza energetica degli edifici, l'interesse degli operatori del settore delle costruzioni si è ora spostato sulla valutazione della sostenibilità ambientale. Essa non interessa unicamente l'ambito del risparmio energetico, ma presuppone un più largo orizzonte comprendente la riduzione dei consumi di risorse (energia, materiali, acqua) e la riduzione dell'inquinamento dovuto alle attività di costruzione, gestione e dismissione degli edifici. È nata quindi l'esigenza di definire strumenti di valutazione affidabili e di facile impiego che, negli ultimi venti anni, ha portato allo sviluppo di numerose iniziative in concorrenza, quando non in conflitto tra loro. Da un lato, numerose iniziative volontarie, nate nel mercato per il mercato, hanno portato alla definizione dei sistemi di valutazione multicriterio a punteggio (*Green Building Rating Systems*); dall'altro, l'azione normativa si fonda sulla quantificazione di indicatori ambientali sintetici tramite il metodo *Life Cycle Assessment* (LCA), ovvero la valutazione ambientale del ciclo di vita.

I *Green Building Rating Systems* si fondano sull'individuazione di un elenco di criteri ambientali (requisiti di progetto) volti alla riduzione dei consumi di risorse e alla tutela della salute umana, il cui soddisfacimento (superamento di un livello soglia) comporta l'assegnazione di punti premiali la cui somma pesata delinea il *punteggio di sostenibilità* conseguito. I sistemi esistenti (BREEAM, LEED, HQE, DGNB, CASBEE, Protocollo Itaca, ecc.) sono stati elaborati da soggetti diversi in contesti economico-geografici diversi e, pur ampliando la valutazione a numerosi aspetti, rimangono molto deboli dal punto di vista della verifica dell'effettiva efficacia delle scelte progettuali e i risultati conseguibili con diversi strumenti sono prevalentemente non comparabili.

In ambito normativo, lo strumento di riferimento per la valutazione della sostenibilità di prodotti (inclusi gli edifici) e processi è il metodo *Life Cycle Assessment* (LCA) che presuppone la quantificazione dei consumi di risorse e delle emissioni inquinanti generate dal prodotto in esame, durante tutte le fasi del suo ciclo di vita (nel caso dell'edificio: approvvigionamento e produzione materiali, trasporto, costruzione, uso, manutenzione, demolizione, gestione rifiuti). Questo strumento è oggettivo, affidabile, scientificamente fondato, e consente la quantificazione degli impatti e la comparabilità dei risultati della valutazione. Esso permette di misurare la sostenibilità attraverso alcuni indicatori sintetici (energia primaria, effetto serra, acidificazione, formazione di ossidanti fotochimici, ecc.) rappresentativi dell'impatto generato sull'ambiente. Il *Life Cycle Assessment* costituisce il riferimento metodologico di tutte le norme tecniche di armonizzazione¹ inerenti la valutazione ambientale degli edifici e dei prodotti edilizi, sia in ambito internazionale (ISO) che europeo (CEN).

Le norme, in particolare quelle europee, che introducono il metodo LCA nella valutazione della sostenibilità degli edifici sono abbastanza recenti e questo strumento è ancora poco noto e poco diffuso sul mercato, soprattutto in Italia, per diversi motivi: difficoltà di accesso ai dati ambientali (manca una banca dati italiana),

¹ ISO/TS 21929-1:2011 – Sustainability in building construction. Sustainability indicators. Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings.
ISO 21931-1:2010 – Sustainability in building construction. Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works. Part 1: Buildings.
ISO 21930:2007 – Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products.
EN 15643-1:2010 – Sustainability of construction works. Sustainability assessment of buildings. Part 1: General framework.
EN 15643-2:2011 – Sustainability of construction works. Sustainability assessment of buildings. Part 2: Framework for the assessment of environmental performance.
EN 15978:2011 – Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
EN 15804:2012 – Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of

scarsità di dati primari su prodotti da costruzione (veicolati per esempio dalle certificazioni di prodotto EPD), complessità del metodo e rarità di operatori competenti. Dal punto di vista della reperibilità dei dati, è opportuno sottolineare che le banche dati restituiscono dati ambientali di prodotti generici di settore, mentre una certificazione EPD illustra il profilo ambientale di un prodotto specifico (vedi paragrafo 1.4). Nello scenario italiano attuale sono ancora pochi i produttori che si sono dotati di certificazioni EPD, principalmente a causa della debolezza della domanda da parte di progettisti e imprese. Sul mercato tedesco al contrario, il numero di prodotti certificati è in continua crescita poiché il *Green Building Rating System* nazionale (DGNB) ha recepito le indicazioni delle norme ISO e CEN, che prevedono una valutazione ambientale dell'edificio con il metodo LCA e una raccolta delle informazioni ambientali tramite le EPD dei prodotti da costruzione. Questo tipo di approccio consente anche di uscire dall'ambiguità di definizioni non scientifiche circa l'ecologicità dei prodotti da costruzione.

1.1. La valutazione Life Cycle Assessment (LCA)

Il *Life Cycle Assessment* è una procedura standardizzata che permette di valutare i danni ambientali connessi all'intero ciclo di vita di un prodotto o un servizio. Il metodo è stato codificato dal SETAC (Society of Toxicology and Chemistry) nel 1993 e normato dagli standard ISO della serie 14040 nel 1997. Il metodo si fonda sulla constatazione che ogni processo attiva dei flussi di sostanze (materie prime e acqua) e di energia in ingresso (consumi in *input*) e dei flussi di rifiuti solidi, liquidi e gassosi in uscita (emissioni in *output*). Analizzare questi flussi consente di definire i consumi di materia ed energia e i rifiuti causati da ogni unità di prodotto. Se si ricostruiscono tutti i processi di trasformazione che portano alla realizzazione di un prodotto è possibile valutare il profilo ambientale del prodotto stesso (ecoprofilo), dall'estrazione delle materie prime fino al cancello dello stabilimento (*form cradle to gate*); se ad esso si aggiunge l'analisi delle attività legate all'uso e al fine vita, è possibile valutare il profilo ambientale lungo tutto il ciclo di vita (*form cradle to grave*).

I motivi principali per condurre una valutazione LCA sono essenzialmente due: comparare i profili ambientali di diverse soluzioni alternative al fine di scegliere quella a minore impatto oppure individuare le criticità ambientali di un processo al fine di migliorarne il profilo.

Dal punto di vista metodologico, uno studio LCA si articola in quattro fasi:

- definizione degli obiettivi e del campo di applicazione;
- analisi dell'inventario;
- valutazione degli impatti ambientali;
- interpretazione dei risultati.

Nella prima fase, vengono definiti gli obiettivi per cui si svolge la valutazione e il campo di applicazione, l'unità funzionale e i confini di sistema. In questa sede, è opportuno sottolineare l'importanza della scelta dell'unità funzionale: si esplicita la funzione 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. I confronti tra diversi prodotti (o servizi) devono essere quindi impostati sulla base della stessa unità funzionale (per esempio, trasmittanza termica per gli isolanti o le

soluzioni di involucro).

La seconda fase consiste nella raccolta dei dati (inventario) relativi ai flussi di *input* (materie prime, energia, acqua) e di *output* (emissioni in aria, acqua, rifiuti solidi) per ciascuno dei processi in ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto.

La terza fase consiste nella valutazione degli impatti ambientali, ossia nella valutazione del contributo di ciascuna delle sostanze elencate nell'inventario alle diverse categorie di impatto ambientale. Si procede quindi alla *classificazione*, assegnando i flussi di materia ed energia esaminati nell'analisi dell'inventario alle categorie di danno ambientale. Le categorie di impatto ambientale tipicamente considerate nella valutazione di edifici e prodotti edilizi (EN 15804) sono:

- riscaldamento globale (GWP - *Global warming potential*), kg CO₂ eq.
- riduzione dello strato di ozono stratosferico (ODP - *Depletion potential of the stratospheric ozone layer*), kg CFC-11 eq.
- acidificazione di suoli e acque (AP - *Acidification potential of land and water*), kg SO₂ eq.
- eutrofizzazione (EP - *Eutrophication potential*), kg (PO₄)³⁻ eq.
- formazione di ozono troposferico (POCP - *Formation potential of tropospheric ozone*), kg C₂H₄ eq.
- degradazione abiotica di risorse non fossili (ADP-elements - *Abiotic depletion potential for non fossil resources*), kg Sb eq.
- degradazione abiotica di risorse fossili (ADP-fossil fuels - *Abiotic depletion potential for fossil resources*), MJ

Per poter *sommare* tra loro le 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 riferimento².

La quarta fase, di interpretazione dei risultati, evidenzia i processi e le sostanze che generano i maggiori impatti al fine di individuare gli aspetti che possono essere oggetto di miglioramento ambientale.

In merito alle applicazioni del metodo LCA alle costruzioni, si sottolinea che gli edifici non sono serializzabili come i prodotti industriali, ma è necessario prestare attenzione alle specificità di ogni oggetto (luogo, epoca storica, cultura e tecniche locali, ecc.), conducendo di fatto due valutazioni: una sull'ecoprofilo dei prodotti da costruzione e una sull'edificio a partire dalla fase di trasporto dei materiali al cantiere. Secondo le norme ISO e CEN, la valutazione LCA di un edificio dovrebbe considerare le seguenti fasi:

- produzione (dalla culla al cancello dello stabilimento): approvvigionamento materie prime, trasporti allo stabilimento produttivo, processi di produzione;
- costruzione: trasporto al cantiere, messa in opera;
- uso: gestione energetica, manutenzione, riparazione, sostituzione, riqualificazione;
- fine vita: demolizione o disassemblaggio, trasporto dei rifiuti, riciclo o smaltimento in discarica dei materiali.

² A titolo di esempio, è importante sottolineare che l'unità di misura "kg di CO₂" indica che sono state conteggiate esclusivamente le emissioni di CO₂. Al contrario, l'unità di misura "kg di CO₂ eq.", indica che sono state conteggiate tutte le emissioni a effetto serra, convertendo tramite la procedura di caratterizzazione i contributi delle altre sostanze in quantità "equivalenti" al contributo della CO₂. I fattori di conversione (caratterizzazione) sono stabiliti all'interno della EN 15804:2012/FprA1:2013.

1.2. La durata dei componenti

Allo scopo di procedere alla valutazione della fase di gestione di un edificio occorre definire anche gli scenari di manutenzione che dipendono essenzialmente dalla durata dei componenti. Nel bilancio complessivo, le sostituzioni necessarie a preservare le prestazioni nel tempo possono avere un'incidenza non trascurabile se i componenti hanno una vita utile decisamente inferiore rispetto alla vita dell'edificio, convenzionalmente considerata di 100 anni.

Nella scelta dei materiali da costruzione si confrontano spesso gli ecoprofilo (*from cradle to gate*) senza considerare la durata: questo può portare ad orientarsi verso soluzioni che presentano un minore impatto di produzione, ma durata in uso ridotta, con conseguente elevata frequenza degli interventi di sostituzione, trascurando invece alternative che presentano impatti ambientali di produzione superiori, ma che grazie alla maggiore durata consentono un bilancio complessivo migliore.

Il nodo cruciale è costituito dalla reperibilità dei dati sulle durate dei componenti, motivo per cui in alcune nazioni europee i produttori sono obbligati a fornire, sotto diretta responsabilità, questo genere di informazioni. Ad esempio, nelle certificazioni EPD francesi (chiamate *Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire*) deve essere dichiarata la vita utile del prodotto; in Austria, il catalogo dei materiali IBO prevede alcuni scenari di vita utile associati alle differenti soluzioni costruttive da utilizzare per la valutazione LCA di edificio. Anche la nuova norma EN 15804:2014 sulle EPD dei prodotti edilizi prevede l'obbligo di dichiarare la vita utile del prodotto (*reference service life*).

Nell'ottica della sostenibilità ambientale, scegliere componenti in grado di conservare a lungo le proprie caratteristiche prestazionali è fondamentale per limitare gli impatti dovuti agli interventi di sostituzione. Al contempo, la possibilità di sostituire facilmente solo i componenti ammalorati o di procedere ad interventi di riparazione puntuale consente di mantenere in uso le parti dotate di qualità residue e di prolungare la durata complessiva dell'edificio. Al contrario, la demolizione dell'edificio comporterebbe la perdita dell'energia incorporata e la necessità di compiere un investimento energetico per la nuova costruzione. In questo senso, i materiali inerti sono caratterizzati da un'eccellente stabilità delle caratteristiche chimico-fisiche e prestazionali nel tempo.

1.3. Le dichiarazioni EPD

Negli ultimi anni si sono sviluppati diversi sistemi di etichettatura dei prodotti allo scopo di comunicare le informazioni ambientali. Si tratta di strumenti volontari utili a stimolare domanda ed offerta di prodotti e servizi ambientalmente preferibili, fornendo ai consumatori informazioni precise e certificate (o autocertificate).

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

- etichette di primo tipo (ISO 14024), come l'Ecolabel;
- etichette di secondo tipo (ISO 14021) o autocertificazioni;
- etichette di terzo tipo (ISO 14025), come l'EPD.

Le etichette del primo tipo (ISO 14024) sono marchi volontari apposti sui prodotti in base al soddisfacimento di requisiti ambientali *a soglia* e la credibilità del marchio è assicurata dalla presenza di un ente certificatore. Questo tipo di certificazione è poco diffuso nel settore delle costruzioni poiché è più adatto all'informazione

dal produttore al consumatore, mentre in edilizia occorre un'informazione dal produttore (di componenti) al produttore (progettisti e imprese di costruzioni).

Le autocertificazioni dei produttori sono definite etichette di secondo tipo (ISO 14021) e non prevedono l'esistenza di alcun certificatore esterno che ne verifichi la validità.

L'EPD (*Environmental Product Declaration*) è una etichetta di terzo tipo (ISO 14025); essa illustra il profilo ambientale di un prodotto valutato secondo il metodo LCA, applicato in accordo alle norme ISO 14040. La redazione di un EPD per un prodotto da costruzione è normata secondo le ISO 21930 e EN 15804. Questo tipo di etichetta è il più diffuso perché presenta i dati relativi all'ecoprofilo del prodotto che possono essere impiegati sia per il confronto tra prodotti alternativi sia per elaborare la valutazione LCA alla scala dell'edificio.

La diffusione di dati ambientali tramite EPD è fondamentale poiché l'attuale scarsa affermazione della valutazione LCA è dovuta principalmente alla ridotta disponibilità di dati. Esistono delle banche dati ambientali sui materiali edilizi, ma hanno il limite di fornire dati medi relativi a categorie generiche di materiali (il laterizio, l'acciaio), senza permettere di valorizzare specifici processi produttivi a basso impatto: prodotti simili provenienti da stabilimenti differenti possono infatti evidenziare profili ambientali anche molto diversi. L'EPD rappresenta invece un collegamento diretto tra prodotto e dato ambientale specifico, favorendo la concorrenza verso l'innovazione ambientale, valorizzando le *best practices* e l'uso delle *best available technologies*.

Molte certificazioni EPD per il settore delle costruzioni sono reperibili in Germania poiché il *Green Building Rating System* tedesco (DGNB) richiede l'EPD come documento base per sviluppare il calcolo LCA dell'intero edificio. In Germania, le EPD vengono rilasciate dall'IBU (Institut Bauen und Umwelt, Istituto per le Costruzioni e l'Ambiente), mentre le EPD italiane di prodotti edilizi fanno riferimento al sistema internazionale *The International EPD® System*, gestito dallo Swedish Environmental Management Council (SWEDAC), anche se occorre segnalare che, di recente in Italia, ICMQ è stato riconosciuto come *program operator* nazionale, e dunque è oggi disponibile la certificazione ambientale italiana EPDIItaly.

2. L'impiego dei risultati di una valutazione LCA o di un EPD nel progetto

Al fine di favorire la diffusione delle valutazioni LCA a supporto delle scelte progettuali orientate alla sostenibilità ambientale, oltre a promuovere la diffusione delle informazioni sui prodotti tramite EPD, occorre creare una domanda di informazioni ambientali. In particolare è necessario 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 la formazione all'uso corretto delle valutazioni LCA come strumento di supporto decisionale è ancora embrionale.

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 soluzione tecnica;
- E: per il confronto tra gli impatti per costruire e gli impatti della 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, ovvero dello stesso comparto materico, ma provenienti da differenti stabilimenti produttivi o caratterizzati da differenti risorse materiali o energetiche impiegate in produzione; ciò può essere svolto utilizzando i dati primari specifici contenuti nelle certificazioni EPD.

B. I progettisti possono scegliere materiali e prodotti a basso impatto ambientale confrontando prodotti alternativi, ovvero di diversi ambiti materici, che svolgano la stessa funzione; anche in questo caso la condizione ideale è poter fare riferimento ai dati primari delle EPD, ma è possibile anche fare riferimento a dati 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 è possibile confrontare due soluzioni di chiusura verticale alternative, assumendo come unità funzionale 1 m^2 di chiusura con trasmittanza termica di $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. 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 gli elementi tecnologici oggetto di confronto avranno prestazioni molto differenti di inerzia termica, di isolamento acustico, di resistenza al fuoco ecc.

D. La valutazione ambientale può contribuire ad ottimizzare la scelta del tipo di materiale (ad esempio per i rivestimenti) e della sua quantità da impiegare in una certa soluzione tecnica.

E. La valutazione LCA può consentire un bilancio tra gli impatti causati dai materiali con cui l'edificio viene realizzato e quelli relativi alla fase d'uso. Tradizionalmente gli impatti legati alla fase d'uso sono sempre stati più significativi, mentre quelli dovuti ai materiali da costruzione erano considerati trascurabili; a seguito dell'incremento dell'efficienza energetica in uso però, gli impatti ambientali imputabili ai materiali tendono ad aumentare nelle realizzazioni più recenti (maggiore consumo di materiali, incremento dei dispositivi impiantistici). Diventa dunque importante verificare se gli impatti generati nella fase di costruzione di edifici energeticamente efficienti siano effettivamente inferiori agli impatti evitati grazie ai risparmi energetici ottenuti nella fase d'uso.

I dati ambientali presenti nelle banche dati o nelle certificazioni ambientali vengono espressi in genere in relazione al peso (-/kg) o al volume (-/m³), quindi in relazione alla massa dei materiali. Questi dati non possono essere utilizzati per compiere comparazioni che devono essere effettuate invece a parità di prestazione erogata. Quando si confrontano materiali o soluzioni costruttive occorre quindi definire l'unità funzionale di riferimento, ossia la prestazione rispetto a cui determinare la quantità di materiale (flusso di riferimento) oggetto di analisi. Per esempio, la prestazione per paragonare due materiali isolanti può essere la resistenza termica, in base alla quale definire lo spessore (in relazione alla conducibilità termica) e la quantità di materiale in peso (in relazione alla densità) che sono necessari per assolvere la prestazione attesa. Si annota che all'interno di ogni categoria materica esistono prodotti con prestazioni molto variabili tra loro, di cui è necessario tenere conto se si paragonano materiali generici e non prodotti specifici. Si ricorda inoltre che i materiali edili spesso assolvono a più prestazioni allo stesso tempo, aspetto da considerare nell'impostazione della valutazione ambientale. In questo senso, non esistono materiali sostenibili a priori ma occorre individuare la soluzione a minore impatto che risponda alla prestazione richiesta.

3. Ecoprofilo LCA di soluzioni costruttive in calcestruzzo aerato autoclavato

Gli ecoprofilo delle soluzioni costruttive in calcestruzzo aerato autoclavato sono state elaborate a partire dalle dichiarazioni EPD dei prodotti Ytong e Multipor attualmente in corso di validità.

3.1. EPD Ytong e Multipor

Nel corso degli ultimi anni, il gruppo Xella ha realizzato diverse EPD per i propri prodotti in relazione alle tipologie commercializzate (blocchi da costruzione, pannelli da parete e tetto, pannelli isolanti) e alla localizzazione degli impianti produttivi (Germania, Francia e più recentemente Italia). Le EPD sono state progressivamente rinnovate perché giunte a scadenza oppure a seguito di alcuni interventi migliorativi nei sistemi di gestione degli impianti produttivi. Le prime dichiarazioni sono state elaborate prendendo a riferimento gli stabilimenti siti in Germania e Francia, dove i blocchi Ytong sono prodotti da oltre 90 anni. Sono questi i paesi europei 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 dichiarazioni 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 registrate presso l'IBU (*Institut Bauen und Umwelt e. V.*) e disponibili sia presso la banca dati on line dell'istituzione sia sul sito internet 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 certificazioni dei blocchi e del pannello isolante Multipor sono state rese coerenti alla norma EN 15804 specifica per le EPD dei prodotti da costruzione; la certificazione Multipor inoltre è stata recentemente aggiornata (nel 2015). Invece le certificazioni tedesche relative ai pannelli armati fanno ancora riferimento alla norma ISO 14025 perché il processo di aggiornamento non è ancora giunto a compimento. All'interno delle EPD è possibile trovare i risultati della valutazione LCA espressi in relazione a 1 m³ 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 m³) 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 m² 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 m²K/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.

Il 26.02.2016, presso l'IBU è stata registrata una nuova EPD relativa al profilo ambientale dei blocchi da

costruzione prodotti nello stabilimento sito a Pontenure (PC) e commercializzati in Italia. Quest'ultimo diventa quindi il documento da assumere per analizzare il profilo ambientale dei blocchi Ytong utilizzati nel nostro paese. Invece il pannello isolante Multipor e i pannelli da parete e tetto continuano ad essere prodotti negli stabilimenti tedeschi. Anche questa EPD è reperibile sia presso la banca dati on-line dell'istituzione sia sul sito internet Ytong.

3.2. Le nuove EPD Ytong e Multipor

Il profilo ambientale dei blocchi Ytong che emerge dall'EPD relativa allo stabilimento di Pontenure è decisamente migliore rispetto al profilo ambientale dei blocchi prodotti in Germania che emerge dal precedente documento (Vedi Tabella 1). Nello specifico si segnala una riduzione del 31% dei consumi di energia per il ciclo produttivo e del potenziale di riscaldamento globale; il potenziale di acidificazione dei suoli e delle acque è diminuito dell'11% e quello di eutrofizzazione delle acque del 16%. L'indicatore che rivela i più significativi miglioramenti è il potenziale di distruzione dello strato di ozono stratosferico, con una riduzione del 94%, mentre il potenziale di formazione di ozono troposferico è l'unico indicatore che rileva una crescita degli impatti, nell'ordine del 7%. In questa sede è opportuno segnalare le ragioni di queste variazioni nel profilo ambientale dei blocchi Ytong. Come anticipato, la precedente EPD è stata elaborata assumendo le informazioni sui cicli produttivi degli stabilimenti tedeschi, che hanno un'età di servizio compresa tra 12 e 40 anni. Al contrario, lo stabilimento italiano, dopo l'acquisizione nel 2011, è stato sottoposto ad un sostanziale intervento di rifunzionalizzazione con lo scopo di ridurre gli impatti ambientali generati pur senza modificare le caratteristiche del prodotto. In primo luogo, la gestione delle acque per la produzione del vapore necessario alla cottura in autoclave è stato riprogettato: negli stabilimenti più vecchi, l'acqua viene assorbita, trasformata in vapore e questo è successivamente disperso in atmosfera. Nei nuovi impianti, l'acqua viene gestita in un ciclo chiuso, nel quale si susseguono fasi di evaporazione e di condensazione, con ridotti reintegri di nuova acqua ad ogni ciclo produttivo. Il recupero delle condense consente anche un recupero di calore che influisce positivamente sui consumi di gas metano. La riprogettazione di alcune strutture dell'impianto ha modificato sensibilmente le temperature operative del nuovo impianto, rendendole compatibili con le temperature medie stagionali ed evitando il ricorso agli impianti di refrigerazione e riscaldamento, con una riduzione dei consumi di energia, delle emissioni di gas climalteranti e che danneggiano lo strato di ozono stratosferico. L'aumento delle temperature operative ha consentito anche una revisione della composizione, riducendo la percentuale di legante per m³ di prodotto, pur mantenendo inalterate le prestazioni meccaniche e termofisiche dei blocchi. Il profilo ambientale ha beneficiato anche di questa variazione nell'uso delle materie prime.

Allo stesso modo, la nuova EPD relativa ai pannelli isolanti Multipor segnala un profilo ambientale migliorativo rispetto al vecchio documento, con una riduzione su tutti gli indicatori per valori compresi tra il 20% (potenziale di riscaldamento globale e di acidificazione) e il 99% (potenziale di distruzione dell'ozono stratosferico). Solo i consumi energetici sono cresciuti complessivamente del 3%, ma con una riduzione dei consumi di energia da fonti non rinnovabili e un aumento dei consumi di energia da fonti rinnovabili (Vedi Tabella 2).

Confronto tra EPD dello stabilimento italiano a Pontenure ed EPD degli stabilimenti tedeschi						
Azienda				Xella Italia srl	Xella Baustoffe GmbH	
Documento				EPD-IAC-20150328-IAC-DE	EPD-XEL-20120006-IAD1-DE	
Stabilimento				Pontenure (PC)	Stabilimenti tedeschi	
Validità documento				26.02.2016 - 25.02.2021	06.06.2012 - 05.06.2017	
PCR riferimento				PCR Porenbeton 07.2014	PCR Porenbeton 08.2012	
Anno dati				2014	2010	
Unità funzionale				1 m ³	1 m ³	
Densità di calcolo				480 kg/m ³	445 kg/m ³	
Densità dei prodotti				300 - 800 kg/m ³	300 - 800 kg/m ³	
Materiali componenti	Sabbia (SiO ₂)			60-70 %	60-70 %	
	Cemento			15-25 %	15-30 %	
	Calce viva			5-15 %	10-20 %	
	Anidrite/gesso			2-5 %	2-5 %	
	Alluminio			0,05-0,1 %	0,05-0,1 %	
	Olio					
Autoclave	Ore			5-12	5-12	
	Temperatura			190 °C	190 °C	
Mix energetico (elettrico)				Italia	Germania 2008	
Valutazione ambientale	Riscaldamento globale	GWP	kg CO ₂ eq.	0,339	0,493	-31,25%
	Riduzione strato ozono stratosferico	ODP	kg CFC-11 eq	0,017 E-9	0,283 E-9	-94,02%
	Acidificazione dei suoli e delle acque	AP	kg SO ₂ eq.	4,375 E-4	4,921 E-4	-11,10%
	Eutrofizzazione	EP	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	5,417 E-5	6,517 E-5	-16,88%
	Formazione ozono troposferico	POCP	kg etene eq.	5,292 E-5	4,944 E-5	+7,04%
	Degradazione abiotica risorse non fossili	ADP	kg Sb eq.	0,002 E-4	0,003 E-4	-23,09%
	Degradazione abiotica risorse fossili	ADP	MJ	2,359	3,819	-38,23%
	Totale energia primaria rinnovabile		MJ	0,384	0,184	+108,94%
	Totale energia primaria non rinnovabile		MJ	2,522	4,054	-37,79%
	Totale energia primaria rinn + non rinn	PEI	MJ	2,906	4,238	-31,43%
	Utilizzo di risorse di acqua dolce		m ³	0,001	0,177	-99,34%
	Rifiuti non pericolosi		kg	0,032	1,054	-96,92%
	Rifiuti pericolosi		kg	0,006 E-4	-	-
	Rifiuti radioattivi		kg	0,006 E-2	0,009 E-2	-27,92%

Tabella 1 – Confronto tra EPD dei blocchi Ytong prodotti a Pontenure (PC) e in Germania. Per confrontare i dati LCA è stata assunta come unità funzionale di riferimento 1 kg di prodotto.

Confronto tra EPD Multipor del 2014 e del 2009						
Azienda				Xella Baustoffe GmbH	Xella Dammsysteme GmbH	
Documento				EPD-XEL-20140218-CAD1-DE	EPD-XEL-2009212-D	
Stabilimento				Stabilimenti tedeschi	Stabilimenti tedeschi	
Validità documento				12.01.2015 - 11.01.2020	16.02.2012 (05.02.2009)	
PCR riferimento				PCR Porenbeton 07.2014	PCR Porenbeton 11.2014	
Anno dati				2013	2004	
Unità funzionale				1 m ³	1 m ³	
Densità di calcolo				115 kg/m ³	115 kg/m ³	
Densità dei prodotti				80 - 135 kg/m ³	115 kg/m ³	
Materiali componenti	Sabbia (SiO ₂)			25-40 %	25-40 %	
	Cemento			25-50 %	25-50 %	
	Calce viva			5-25 %	5-25 %	
	Anidrite/gesso			3-7 %	3-7 %	
	Componente minerale			10-20 %	10-20 %	
	Alluminio			0,7-0,8 %	0,7-0,8 %	
Autoclave	Ore			5-12	5-12	
	Temperatura			190 °C	190 °C	
Mix energetico (elettrico)				Germania 2010	Germania 2004	
Valutazione ambientale	Riscaldamento globale	GWP	kg CO ₂ eq.	0,878	1,110	-20,85%
	Riduzione strato ozono stratosferico	ODP	kg CFC-11 eq	0,028 E-9	90,435 E-9	-99,97%
	Acidificazione dei suoli e delle acque	AP	kg SO ₂ eq.	16,174 E-4	20,000 E-4	-19,13%
	Eutrofizzazione	EP	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	20,087 E-5	26,087 E-5	-23,00%
	Formazione ozono troposferico	POCP	kg etene eq.	13,913 E-5	27,826 E-5	-50,00%
	Degradazione abiotica risorse non fossili	ADP	kg Sb eq.	0,006 E-4	-	-
	Degradazione abiotica risorse fossili	ADP	MJ	10,522	-	-
	Totale energia primaria rinnovabile		MJ	2,704	1,663	+62,66%
	Totale energia primaria non rinnovabile		MJ	11,739	12,313	-4,66%
	Totale energia primaria rinn + non rinn	PEI	MJ	14,443	13,976	+3,34%
	Utilizzo di risorse di acqua dolce		m ³	0,004	-	-
	Rifiuti non pericolosi		kg	0,222	2,087	-89,37%
	Rifiuti radioattivi		kg	0,052 E-2	0,417 E-2	-87,50%

Tabella 2 – Confronto tra EPD aggiornata (2015) e precedente (2009) riferite al pannello Multipor. Per confrontare i dati LCA è stata assunta come unità funzionale di riferimento 1 kg di prodotto.

3.3. Ecoprofilo LCA di soluzioni costruttive Ytong e Multipor

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 in AAC, espresse già in funzione di 1 m² 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 m³ 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 propri di ogni prodotto a catalogo in parallelo alle prestazioni tecniche di ciascuno di essi (trasmissione, isolamento acustico, ecc.), in modo da affiancare l'informazione ambientale all'informazione tecnica, come ulteriore parametro di scelta progettuale.

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

I dati ambientali LCA sono tratti dalle EPD Xella attualmente disponibili che rispondono agli standard internazionali ISO 14025 e EN 15804:

- Blocchi Ytong: EPD-IAC-20150328-IAC1-DE, Ytong Porenbeton, Xella Italia s.r.l.;
- Pannelli Multipor: EPD-XEL-20140218-CAD1-DE, Multipor Mineraldamplatte, Xella Baustoffe GmbH;
- Pannelli parete e solaio: EPD-XEL-2010511-D, Hebel[®] - Bewehrter Porenbeton, Xella International GmbH.

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 (mm)	Altezza (mm)	Spessore (mm)	Conducibilità termica a secco [λ _{10, dry}] (W/mK)	Resistenza termica strato (m ² ·K/W)	Trasmitanza termica strato (senza intonaci) (W/m ² ·K)	Densità (kg/m ³)	PEI prodotto (MJ/m ³)	GWP prodotto (kgCO ₂ eq/m ²)	ODP prodotto (kgCFC-11eq/m ²) [E-9]	POCP prodotto (kgC ₂ H ₄ eq/m ²) [E-5]	AP prodotto (kgSO ₂ eq/m ²) [E-4]	EP prodotto (kgPO ₄ eq/m ²) [E-5]
BLOCCHI CLIMAGOLD 300	624	199	400	0.072	5.80	0.17	300	348.72	40.68	2.04	635.04	525.00	650.04
	624	199	450	0.072	6.25	0.16	300	392.31	45.77	2.30	714.42	590.63	731.30
	624	199	480	0.072	6.67	0.15	300	418.46	48.82	2.45	762.05	630.00	780.05
BLOCCHI CLIMAPLUS 325	624	199	240	0.078	3.24	0.31	325	226.67	26.44	1.33	412.78	341.25	422.53
	624	199	300	0.078	4.00	0.25	325	283.34	33.05	1.66	515.97	426.56	528.16
	624	199	360	0.078	4.80	0.21	325	340.00	39.66	1.99	619.16	511.88	633.79
BLOCCHI THERMO 450	624	199	240	0.108	2.38	0.42	450	313.85	36.61	1.84	571.54	472.50	585.04
	624	199	300	0.108	2.91	0.34	450	392.31	45.77	2.30	714.42	590.63	731.30
	624	199	360	0.108	3.50	0.29	450	470.77	54.92	2.75	857.30	708.75	877.55
	624	199	400	0.108	3.88	0.26	450	523.08	61.02	3.06	952.56	787.50	975.06
BLOCCHI THERMO 500	624	249	150	0.120	1.43	0.70	500	217.95	25.43	1.28	396.90	328.13	406.28
	624	249	200	0.120	1.85	0.54	500	290.60	33.90	1.70	529.20	437.50	541.70
BLOCCHI SISMICO 575	624	199	240	0.143	1.86	0.54	575	401.03	46.78	2.35	730.30	603.75	747.55
	624	199	300	0.143	2.29	0.44	575	501.29	58.48	2.93	912.87	754.69	934.43
	624	199	360	0.143	2.71	0.37	575	601.54	70.17	3.52	1095.44	905.63	1121.32
BLOCCHI SOTTILI E TAVELLE 550	624	249	50	0.135	0.54	1.85	550	79.92	9.32	0.47	145.53	120.31	148.97
	624	249	80	0.135	0.76	1.31	550	127.86	14.92	0.75	232.85	192.50	238.35
	624	249	100	0.135	0.91	1.10	550	159.83	18.65	0.94	291.06	240.63	297.94
	624	249	120	0.135	1.06	0.94	550	191.80	22.37	1.12	349.27	288.75	357.52
MULTIPOR 042 (Non adatto per isolamento a cappotto esterno)	600	390	60	0.039	1.40	0.71	95	82.33	5.00	0.16	79.30	92.19	114.50
	600	390	80	0.039	1.90	0.53	95	109.77	6.67	0.21	105.74	122.92	152.66
	600	390	100	0.039	2.40	0.42	95	137.21	8.34	0.27	132.17	153.65	190.83
	600	390	120	0.039	2.90	0.35	95	164.65	10.01	0.32	158.61	184.38	228.99
	600	390	140	0.039	3.30	0.30	95	192.09	11.68	0.37	185.04	215.11	267.16
MULTIPOR COMPACT 045	500	390	30	0.042	0.65	1.53	115	49.83	3.03	0.10	48.00	55.80	69.30
	500	390	40	0.042	0.85	1.17	115	66.44	4.04	0.13	64.00	74.40	92.40
MULTIPOR 045	600	390	50	0.042	1.10	0.91	115	83.05	5.05	0.16	80.00	93.00	115.50
	600	390	60	0.042	1.30	0.77	115	99.66	6.06	0.19	96.00	111.60	138.60
	600	390	80	0.042	1.80	0.56	115	132.88	8.08	0.26	128.00	148.80	184.80
	600	390	100	0.042	2.20	0.45	115	166.09	10.10	0.32	160.00	186.00	231.00
	600	390	120	0.042	2.70	0.37	115	199.31	12.12	0.39	192.00	223.20	277.20
	600	390	140	0.042	3.10	0.32	115	232.53	14.14	0.45	224.00	260.40	323.40
	600	390	160	0.042	3.60	0.28	115	265.75	16.16	0.52	256.00	297.60	369.60
	600	390	180	0.042	4.00	0.25	115	298.97	18.17	0.58	288.00	334.80	415.80
	600	390	200	0.042	4.40	0.23	115	332.19	20.19	0.64	320.00	372.00	462.00
	600	390	220	0.042	4.90	0.20	115	365.41	22.21	0.71	352.00	409.20	508.20
	600	390	240	0.042	5.30	0.19	115	398.63	24.23	0.77	384.00	446.40	554.40
	600	390	260	0.042	5.70	0.18	115	431.85	26.25	0.84	416.00	483.60	600.60
	600	390	280	0.042	6.15	0.16	115	465.06	28.27	0.90	448.00	520.80	646.80
600	390	300	0.042	6.60	0.15	115	498.28	30.29	0.97	480.00	558.00	693.00	
PANNELLI PARETE CLASSE 500 (Prodotti in Germania) (*) Lunghezza massima	6500 (*)	600-625	250	0.120	2.08	0.48	500	588.75	65.00	2595.00	927.50	833.75	1308.75
	6500 (*)	600-625	300	0.120	2.50	0.40	500	706.50	78.00	3114.00	1113.00	1000.50	1570.50
	6500 (*)	600-625	365	0.120	2.97	0.34	500	859.58	94.90	3788.70	1354.15	1217.28	1910.78
PANNELLI PARETE E SOLAIO CLASSE 550 (Prodotti in Germania) (*) Lunghezza massima	8000 (*)	625-750	150	0.140	1.17	0.85	550	388.58	42.90	1712.70	612.15	550.28	863.78
	8000 (*)	625-750	175	0.140	1.34	0.75	550	453.34	50.05	1998.15	714.18	641.99	1007.74
	8000 (*)	625-750	200	0.140	1.50	0.67	550	518.10	57.20	2283.60	816.20	733.70	1151.70
	8000 (*)	625-750	250	0.140	1.85	0.54	550	647.63	71.50	2854.50	1020.25	917.13	1439.63
	8000 (*)	625-750	300	0.140	2.19	0.46	550	777.15	85.80	3425.40	1224.30	1100.55	1727.55
	8000 (*)	625-750	365	0.140	2.66	0.38	550	945.53	104.39	4167.57	1489.57	1339.00	2101.85

4. Valutazione comparativa LCA con soluzioni costruttive convenzionali

L'analisi comparativa ha coinvolto 15 soluzioni di chiusura e partizione verticale interne. Nelle pagine a seguire sono presentati i risultati delle valutazioni effettuate, riportando le tabelle descrittive dei pacchetti analizzati dove a ciascuna soluzione sono associati i valori dei parametri termo-fisici ed ambientali. A completamento, sono inseriti i grafici rappresentativi dei risultati delle valutazioni LCA relativi ai parametri consumo di energia, effetto serra ed acidificazione.

Le soluzioni e comparazioni sono suddivise in 5 gruppi:

- chiusure verticali di tamponamento a parità di trasmittanza termica;
- chiusure verticali con elementi portanti a parità di trasmittanza termica;
- chiusure verticali portanti a cappotto con differenti tipi di isolamento termico a parità di trasmittanza termica (isolamento invernale);
- chiusure verticali portanti a cappotto con differenti tipi di isolamento termico a parità di sfasamento termico (comfort estivo);
- partizione verticali interne.

Al fine di condurre una valutazione comparativa LCA è stata scelta come unità funzionale 1 m² di soluzione costruttiva e per ogni gruppo è stata identificata una prestazione di riferimento comune.

Il **primo gruppo** è costituito dalle **chiusure verticali di tamponamento** con trasmittanza termica di 0,21 W/m²K e 0,15 W/m²K; ne fanno parte le 4 soluzioni tipologiche elencate a seguire:

- soluzione monostrato con blocco Ytong Climaplust 325 e Climagold 300;
- soluzione leggera stratificata a secco con struttura in profili metallici, lastra esterna a matrice cementizia e doppia lastra interna in cartongesso, 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 rigido 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 0,21 W/m²K e 0,15 W/m²K; ad essi appartengono le seguenti 4 soluzioni:

- soluzione bistrato con blocco Ytong Sismico 575 e cappotto in pannelli Multipor 045;
- soluzione bistrato con blocco Ytong Thermo 450 e cappotto in pannelli Multipor 045;
- 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 lastre in cartongesso e pannello in fibra di legno flessibile interposto.

Il **terzo gruppo** mette a confronto **4 materiali isolanti applicabili a cappotto** su una chiusura verticale in blocchi Ytong Sismico 575 fino a raggiungere una trasmittanza termica di 0,20 W/m²K e 0,15 W/m²K. I 4 materiali sono:

- Ytong Multipor 045;
- polistirene espanso sinterizzato;
- lana di roccia;

- fibra di legno rigida.

Il **quarto gruppo** mette a confronto le stesse soluzioni del terzo gruppo, ponendo però come unità funzionale di paragone uno sfasamento termico di 16,5 ore, parametro di riferimento per il comfort estivo.

Il **quinto gruppo** paragona 3 soluzioni per partizione interna. Al fine di condurre una valutazione comparativa LCA, in questo caso è stato scelto come unità funzionale lo spessore comunemente impiegato per realizzare una separazione tra ambienti interni appartenenti ad uno stesso alloggio, quindi senza prescrizioni dal punto di vista della prestazione termica e acustica dell'elemento costruttivo. Le 3 soluzioni tipologiche considerate sono:

- soluzione in muratura a giunto sottile con blocco Ytong;
- soluzione in muratura tradizionale con laterizio forato;
- soluzione leggera stratificata a secco con struttura in profili metallici, lastre in cartongesso e isolante in lana di roccia interposto.

Ciascun gruppo è stato costituito selezionando le soluzioni di chiusura e partizione più frequentemente utilizzate nel panorama edilizio nazionale, in raffronto con le soluzioni costruttive Ytong.

Nei casi relativi alle chiusure verticali, 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 relative 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 costretto ad assumere dei range, rendendo impossibile la comparazione. 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.

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, vista l'attuale attenzione ai temi del risparmio energetico. I valori di conducibilità termica sono stati reperiti nelle schede tecniche di prodotto. Non sono state applicate le percentuali di maggiorazione previste dalla UNI EN ISO 10456, ma si demanda al progettista tale applicazione in relazione allo specifico contesto.

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. A titolo di esemplificazione, la valutazione comparativa dei 4 materiali isolanti applicabili a cappotto su una chiusura verticale in blocchi Ytong Sismico 575 è stata condotta anche impostando come unità funzionale un valore di sfasamento termico prossimo alle 16,5 ore e definendo gli spessori dei materiali isolanti in funzione di questo obiettivo.

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

I dati ambientali per effettuare le valutazioni sulle chiusure e sulle partizioni verticali sono stati assunti dalle dichiarazioni EPD dei prodotti Xella elencate in precedenza e dalla banca dati Ecoinvent 3 (elaborati con i metodi EPD2013 e Cumulative Energy Demand) per tutti gli altri prodotti, non essendo disponibili le EPD di tutti i prodotti considerati. Nel confronto sui materiali isolanti per cappotto sono stati adottati prodotti specifici con le relative caratteristiche termofisiche, assunte dalle schede tecniche, e valori ambientali reperiti nelle dichiarazioni EPD disponibili, che si elencano a seguire:

- polistirene espanso sinterizzato: ECO-EPS-00020101-1106, Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (density 20 kg/m³), EUMEPS – European Association of EPS;
- lana di roccia: EPD-DRW-2012121-EN, Stone wool insulating materials in the medium bulk density range, Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG;
- fibra di legno rigida: EPD-PAV-2013254-CBG1-DE, Materiali isolanti in fibra di legno prodotti con sistema ad umido, densità 135-200 kg/m³, Pavatex SA.

Si segnala che per quanto attiene i pannelli in polistirene espanso sinterizzato (EPS) si è fatto ricorso all'EPD elaborata della EUMEPS (Associazione Europea dei produttori di EPS) perché nessun prodotto reperibile sul mercato italiano è coperto da una EPD specifica. Sebbene le EPD di categoria siano ammesse dalle norme, si precisa che i dati ambientali impiegati nell'elaborazione di questi documenti provengono da diversi stabilimenti di diversi produttori mentre i dati ambientali impiegati nell'elaborazione di una EPD specifica derivano dallo studio del processo produttivo proprio del prodotto certificato, sotto la responsabilità dell'azienda che lo produce.

Si sottolinea inoltre che per i prodotti Ytong 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. Dal momento che i dati ambientali dei prodotti di comparazione sono stati assunti da banca dati, si ritiene significativo anche il confronto con i dati da banca dati relativi ai blocchi AAC, per omogeneità nelle modalità di calcolo ed elaborazione delle LCA. I confronti con dati da banca dati sono riquadrati nei grafici. Nei grafici sono poi illustrati anche i risultati elaborati a partire dai dati LCA dei prodotti Xella provenienti dalle EPD, nella prospettiva di evidenziare il profilo ambientale specifico di questi prodotti che, come è stato spiegato all'inizio, nel caso di Xella è migliorativo

rispetto ai dati da banca dati grazie alle politiche ambientali aziendali. 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, estratti dalla dichiarazione EPD, non trovano alcun dato di confronto all'interno della banca dati Ecoinvent.

La valutazione è stata effettuata considerando i principali indicatori ambientali:

- consumo di energia primaria (PEI), MJ
- riscaldamento globale (GWP - *Global warming potential*), kg CO₂ eq.
- riduzione dello strato di ozono stratosferico (ODP - *Depletion potential of the stratospheric ozone layer*), kg CFC-11 eq.
- formazione di ozono troposferico (POCP - *Formation potential of tropospheric ozone*), kg C₂H₄ eq.
- acidificazione di suoli e acque (AP - *Acidification potential of land and water*), kg SO₂ eq.
- eutrofizzazione (EP - *Eutrophication potential*), kg (PO₄)³⁻ 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 due precisazioni relative ai valori di consumo di energia primaria. In primo luogo, si sottolinea che i valori relativi al consumo di energia primaria tengono conto sia dei consumi di energia prodotta da fonte non rinnovabile, sia dei consumi di energia prodotta da fonte rinnovabile. In secondo luogo, si precisa 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 la termovalorizzazione del materiale quindi, in un bilancio LCA completo, l'energia *stoccata* a inizio vita viene bilanciata dall'energia *prodotta* dalla combustione del materiale a fine vita (se si ipotizza come scenario di smaltimento la termovalorizzazione), portando così il bilancio complessivo a zero considerando l'intero ciclo di vita del materiale. In 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 verificate anche le emissioni prodotte dalla combustione stessa: mentre nel caso delle emissioni di CO₂ la letteratura scientifica considera che il bilancio complessivo tra CO₂ assorbita dalla pianta durante la crescita

e CO₂ emessa al momento della combustione del materiale sia pressoché azzerato (ossia che CO₂ assorbita e CO₂ emessa si compensino), occorre sottolineare che le emissioni durante la combustione sono di varia natura, con un peggioramento del bilancio ambientale degli indicatori di impatto legati alle emissioni in aria. Di conseguenza, nella lettura dei grafici comparativi del presente studio, che considerano solo le fasi di pre-produzione e produzione (*from cradle to gate*), va considerato che i componenti a base legno presentano un profilo ambientale peggiorativo nel caso dell'indicatore dell'energia primaria (perché viene conteggiata l'energia *feedstock* come consumo, ma non l'energia prodotta a fine vita con la termovalorizzazione) e migliorativo nel caso dell'indicatore del riscaldamento globale (perché non viene conteggiato il rilascio di CO₂ nel caso di termovalorizzazione), rispetto a un bilancio che consideri l'intero ciclo di vita, e in particolare il fine vita.

4.1. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale di tamponamento

Dal confronto emerge che le soluzioni costruttive di chiusura verticale di tamponamento realizzate in calcestruzzo aerato autoclavato Ytong hanno un comportamento ambientale sensibilmente migliore rispetto alle altre, grazie alla densità inferiore in confronto con gli altri elementi in muratura.

Nel caso della chiusura leggera, 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 (0,10 secondo il DM 26.6.2015). 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 (0,21 W/m²K) 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.

Un secondo aspetto rilevante interessa la soluzione leggera: l'incidenza dei ponti termici causati dai telai metallici. La questione della coerenza tra valori di calcolo e valori reali è un tema parzialmente nuovo, ma fondamentale per garantire il reale contenimento dei consumi energetici in fase d'uso. Come si evince dall'estratto seguente, alcuni produttori tedeschi dichiarano nei manuali tecnici di progettazione la prestazione della parete con e senza l'incidenza dei ponti termici. Il peggioramento della trasmittanza termica della parete dovuto ai ponti termici delle strutture metalliche oscilla tra il 20% e il 60%. Una adeguata correzione dei ponti termici impone lo sfalsamento dei montanti metallici e l'inserimento in intercapedine di un ulteriore strato isolante, eventualmente sostenuto da una terza struttura metallica se di elevato spessore. Questo implica certamente un peggioramento degli indicatori ambientali con percentuali variabili in relazione alla configurazione della struttura e al tipo di isolante aggiunto. Per la soluzione assunta in questo studio, il peggioramento del profilo ambientale è compreso tra il 10% e il 25%.

Nelle analisi, la soluzione leggera costruita secondo la prassi corrente è stata affiancata da una seconda soluzione nella quale è stato inserito un pannello isolante nell'intercapedine tra i due telai strutturali con

funzione di taglio termico, coerentemente con quanto indicato nella soluzione n. 4 riportata dalla documentazione tecnica (Vedi Tabella 3).

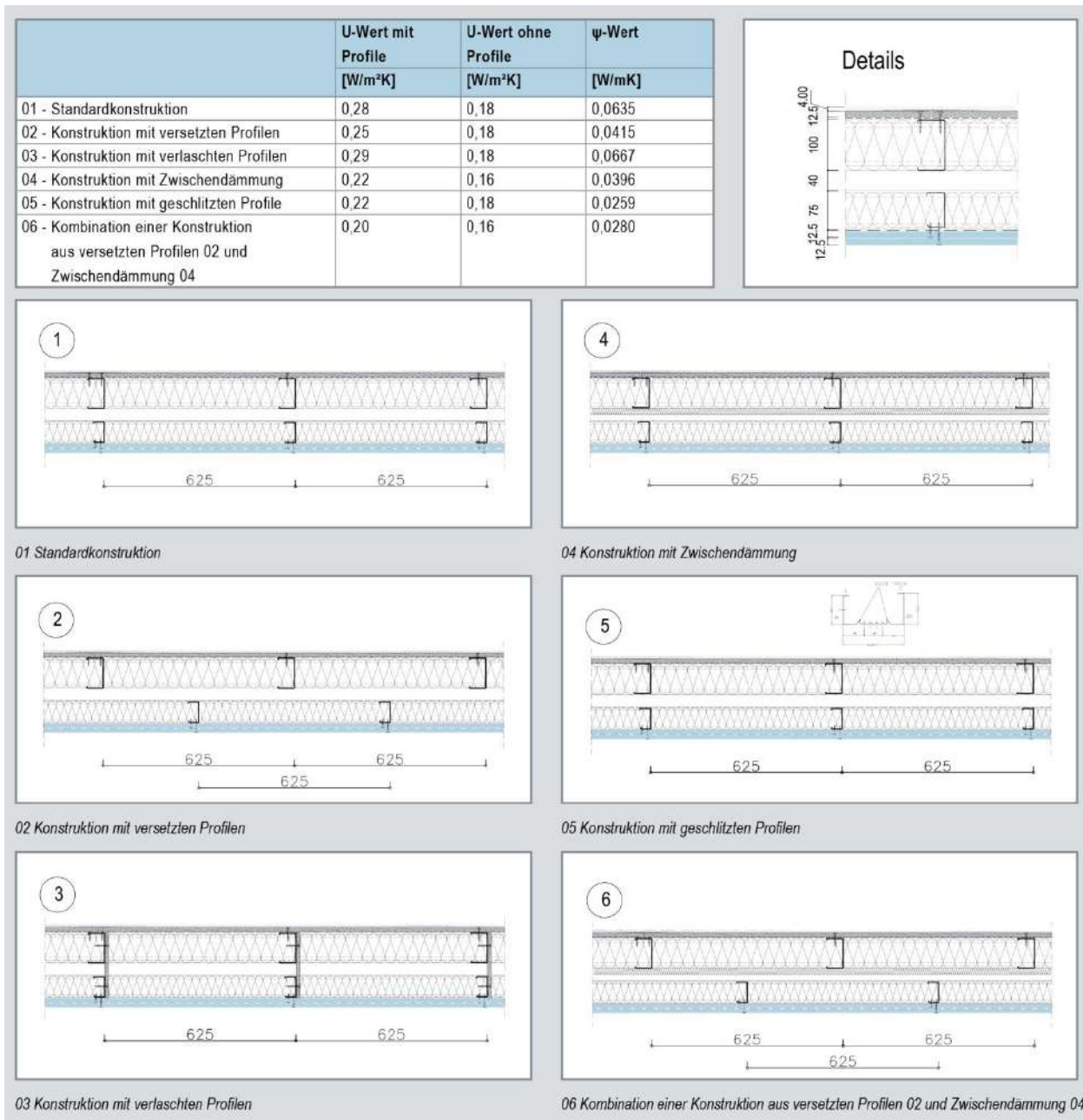


Tabella 3 – Variazione della trasmittanza termica delle chiusure leggere in relazione all'organizzazione dei montanti di supporto: viene evidenziata l'incidenza dei ponti termici sulla prestazione termica della parete e vengono indicate le soluzioni per la correzione dei ponti termici (Knauf Außenwand Technik, Planungsdetails für Außenwände im Trockenbau, 2013).

Se si confronta il profilo ambientale della soluzione Ytong con dati assunti da EPD con il profilo della medesima soluzione analizzato a partire dai dati di banca dati emerge uno scostamento molto rilevante sul potenziale di acidificazione, mentre i consumi energetici e il potenziale di riscaldamento globale hanno variazioni significative, ma entro il 20%.

Complessivamente la soluzione Ytong risulta essere la migliore rispetto a tutti gli indicatori di impatto ambientale, con riduzioni degli impatti anche superiori al 50%.

4.1.a. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale di tamponamento con trasmittanza termica pari a 0,21 W/m²K

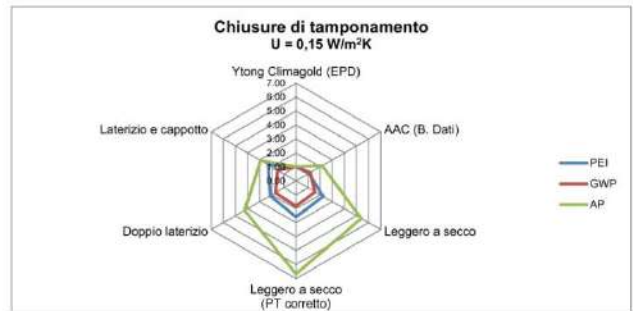
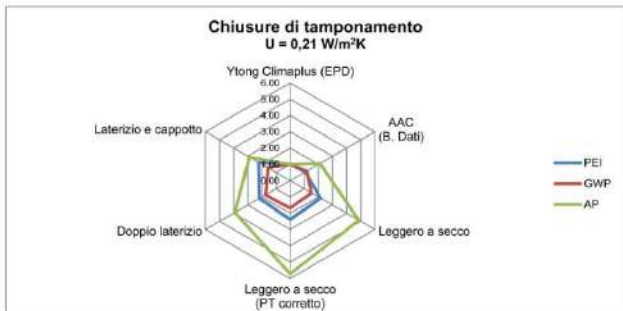
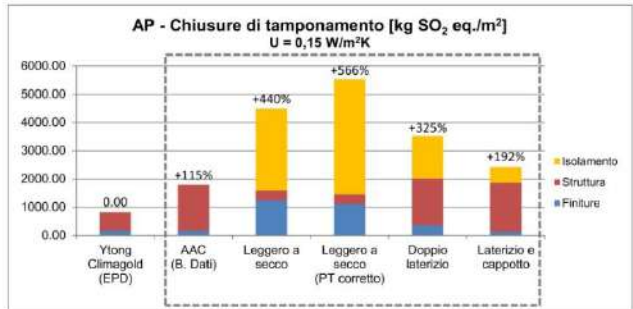
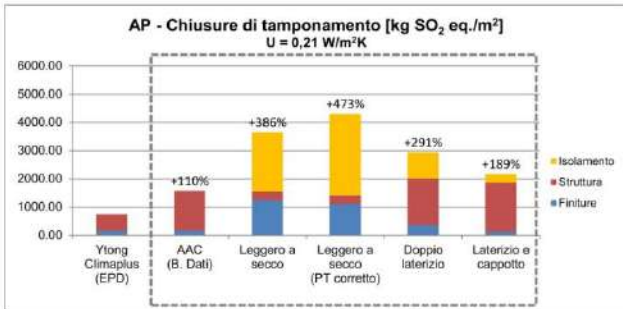
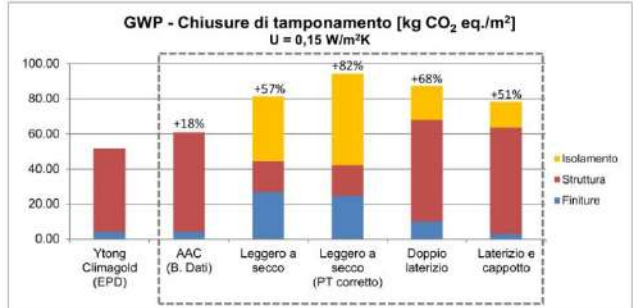
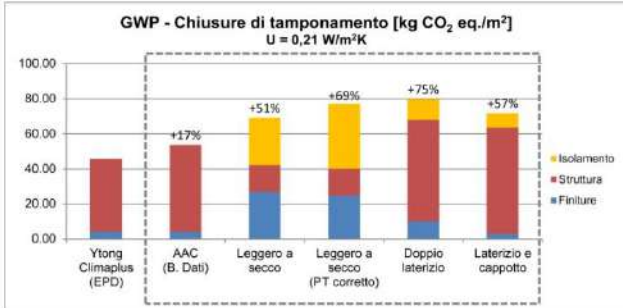
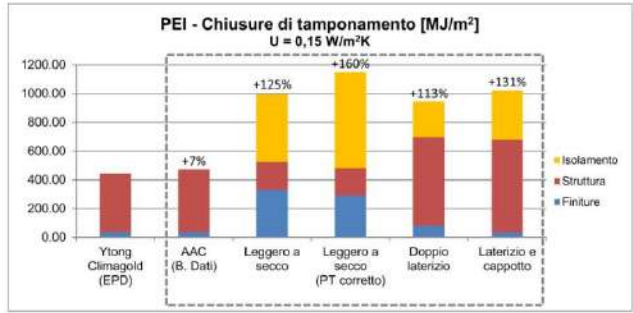
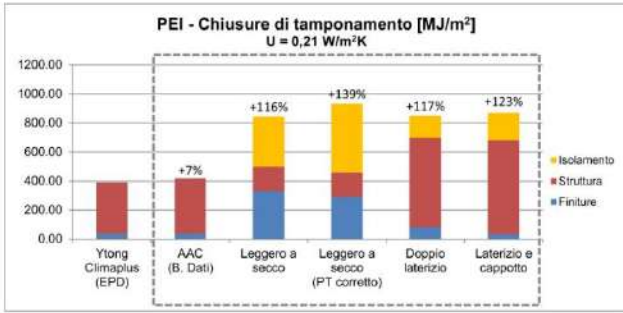
CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI DI TAMPONAMENTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,21 W/m ² K			Conducibilità termica a secco [k _w .m.] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² .K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² .K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² .K)	Sfalsamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica peridica chiusura (W/m ² .K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)			
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato															
BLOCCO YTONG CLIMAPLUS (EPD Ytong Blocchi Pontenure)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	4.84	0.21	15.05	0.12	0.02				391.00			
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0.180	0.008	0.04										800	6.40	10.84
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
	Strato 3	Blocco Ytong Climaplus 325 - 36 cm	0.078	0.360	4.62										325	117.00	340.00
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precol			0.00											8.60	14.56
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
Strato 4	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.470	0.006	0.01				1400	8.40	14.22							
Strato 5	Strato liminare interno			0.13													
BLOCCO YTONG CLIMAPLUS (Banca dati)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	4.84	0.21	15.05	0.12	0.02				417.68			
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0.180	0.008	0.04										800	6.40	10.84
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
	Strato 3	Blocco Ytong Climaplus 325 - 36 cm	0.078	0.360	4.62										325	117.00	368.68
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precol			0.00											8.60	14.56
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
Strato 4	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.470	0.006	0.01				1400	8.40	14.22							
Strato 5	Strato liminare interno			0.13													
CHIUSURA LEGGERA A SECCO (senza correzione ponti termici)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	5.09	0.20	6.82	0.56	0.11				844.06			
	Strato 2	Rasante cementizio per lastre	0.290	0.005	0.02										1800	9.00	15.24
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
	Strato 3	Lastre Aquapanel Outdoor	0.350	0.013	0.04										1150	14.38	172.10
	Strato 4	Tessuto Tyvek			0.00											0.12	9.17
	Strato 5	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.080	2.25										110	8.80	172.30
	Elemento 2	Struttura metallica			0.00											2.85	84.48
	Strato 6	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06										760	9.50	40.43
	Strato 7	Intercapedine non ventilata	0.163	0.030	0.18												
	Strato 8	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.080	2.25										110	8.80	172.30
	Elemento 3	Struttura metallica			0.00											2.85	84.48
	Strato 9	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06										760	9.50	40.43
Strato 10	Foglio di alluminio	220.000	0.000	0.00				2700	0.04	7.02							
Strato 11	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06				760	9.50	40.43							
Strato 12	Strato liminare interno			0.13													
CHIUSURA LEGGERA A SECCO (con correzione ponti termici struttura)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.54	0.20	7.75	0.55	0.11				932.85			
	Strato 2	Rasante cementizio per lastre	0.290	0.005	0.02										1800	9.00	15.24
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
	Strato 3	Lastre Aquapanel Outdoor	0.350	0.013	0.04										1150	14.38	172.10
	Strato 4	Tessuto Tyvek			0.00											0.12	9.17
	Strato 5	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.080	2.25										110	8.80	172.30
	Elemento 2	Struttura metallica			0.00											2.85	84.48
	Strato 6	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06										760	9.50	40.43
	Strato 7	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.060	1.70										110	6.60	129.22
	Strato 8	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.080	2.25										110	8.80	172.30
	Elemento 3	Struttura metallica			0.00											2.85	84.48
	Strato 9	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06										760	9.50	40.43
Strato 10	Foglio di alluminio	220.000	0.000	0.00				2700	0.04	7.02							
Strato 11	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06				760	9.50	40.43							
Strato 12	Strato liminare interno			0.13													
DOPPIA PARETE IN LATERIZIO CON ISOLAMENTO INTERPOSTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	4.66	0.21	15.94	0.09	0.02				848.99			
	Strato 2	Infonaco di finitura in calce e cemento	0.400	0.003	0.01										1300	3.90	6.80
	Strato 3	Infonaco di fondo in calce e cemento	0.550	0.010	0.02										1530	15.30	25.90
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 20x50x19,9	0.200	0.200	1.00										780	156.00	419.02
	Elemento 1	Giunti di malta di calce e cemento			0.00										1800	18.00	33.37
	Strato 5	Rinzaffo in calce e cemento	0.830	0.010	0.01										1800	18.00	33.37
	Strato 6	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.110	3.13										70	7.70	150.76
	Strato 7	Foglio di carta kraft polifenolica	0.180	0.000	0.00											0.09	1.50
	Strato 8	Mattioni forati in laterizio 8x24x24	0.261	0.080	0.31										700	56.00	150.42
	Elemento 2	Giunti di malta di calce e cemento			0.00										1800	5.76	10.68
Strato 9	Infonaco in calce e gesso	0.700	0.015	0.02				1150	17.25	17.37							
Strato 10	Strato liminare interno			0.13													
BLOCCO IN LATERIZIO PORIZZATO E CAPPOTTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	4.66	0.21	15.72	0.05	0.01				870.69			
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0.750	0.005	0.01										1300	6.50	11.00
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00											0.16	5.89
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0.038	0.100	2.80										18	1.80	190.56
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 25x30x19,9	0.150	0.250	1.67										900	225.00	604.35
	Elemento 2	Giunti di malta di calce e cemento			0.00										1800	22.50	41.72
Strato 5	Infonaco in calce e gesso	0.700	0.015	0.02				1150	17.25	17.37							
Strato 6	Strato liminare interno			0.13													

GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgCFC-11eq./kg) [E-9]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq./kg) [E-9]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
1.47	45.72	48.26	231.52	20.41	712.13	52.12	752.30	98.43	1117.26	Ylong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
39.66		1.99		619.16		511.88		633.79		Ylong Climapius 325	EPD Ylong Blocchi Pontanure
1.97		64.84		27.43		70.03		132.27		Malta collante Ylong Preocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ylong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
1.47	53.68	48.26	2262.76	20.41	788.76	52.12	1582.18	98.43	3142.06	Ylong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
47.62		2033.23		895.80		1341.76		2658.59		Ylong Climapius 325	EI3 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod. Al Def. U
1.97		64.84		27.43		70.03		132.27		Malta collante Ylong Preocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ylong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
2.06	69.18	67.86	3974.09	28.70	2542.52	73.29	3656.96	138.42	5314.31	Knauf Aquapanel Exterior Basecoat	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		Knauf Aquapanel Reinforcing Mesh	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
17.01		806.55		344.77		667.00		1680.55		Knauf Aquapanel Outdoor	EI3 - Fibre cement facing tile, large format (CH), prod. Al Def. U
0.23		0.12		7.52		7.74		6.62		Knauf Tyvek Stucco Wrap	EI3 - Polyethylene, high density (RER), prod. Al Def. U
13.46		560.31		645.12		1051.07		2025.20		Knauf Isorocclia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10			EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35		Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def. U
13.46		560.31		645.12		1051.07		2025.20		Knauf Isorocclia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10			EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35		Lastra Knauf GKB + BV	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def. U
0.67		21.08		29.99		53.07		145.68			EI3 - Aluminium (RER), primary, prod. Al Def. U
2.18	629.55	66.90	138.04	342.35	Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def. U					
2.06	77.10	67.86	3764.78	28.70	2959.46	73.29	4307.22	138.42	6490.85	Knauf Aquapanel Exterior Basecoat	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		Knauf Aquapanel Reinforcing Mesh	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
17.01		806.55		344.77		667.00		1680.55		Knauf Aquapanel Outdoor	EI3 - Fibre cement facing tile, large format (CH), prod. Al Def. U
0.23		0.12		7.52		7.74		6.62		Knauf Tyvek Stucco Wrap	EI3 - Polyethylene, high density (RER), prod. Al Def. U
13.46		560.31		645.12		1051.07		2025.20		Knauf Isorocclia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10			EI3 - Galvanized steel, at plant
10.09		420.24		463.84		788.30		1518.90		Knauf Isorocclia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
13.46		560.31		645.12		1051.07		2025.20		Knauf Isorocclia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10			EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35		Lastra Knauf GKB + BV	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def. U
0.67		21.08		29.99		53.07		145.68			EI3 - Aluminium (RER), primary, prod. Al Def. U
2.18	629.55	66.90	138.04	342.35	Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def. U					
0.89	79.82	29.41	4664.71	12.44	1725.42	31.76	2943.92	59.98	6460.85	Fassa Bortolo IG21	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
3.50		115.36		48.79		124.59		235.31		Fassa Bortolo KC1	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
38.22		2545.76		877.82		1068.91		2624.08		WB PoroTherm BioPlan 20-50-19.9	EI3 - Brick (RER), prod. Al Def. U
4.55		147.46		65.03		155.09		290.58		Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod. Al Def. U
4.55		147.46		65.03		155.09		290.58		Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod. Al Def. U
11.77		490.27		564.48		919.69		1772.05		Rockwool Airrock HD K1	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod. Al Def. U
0.09		8.16		5.03		6.67		29.19		Rockwool Airrock HD K1	EI3 - Kraft paper, unbleached (RER), prod. Al Def. U
13.72		913.86		243.32		383.71		841.98		Wisnerberger forati 8x24x24	EI3 - Brick (RER), prod. Al Def. U
1.46		47.19		20.81		49.63		92.98		Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod. Al Def. U
1.05		219.78		22.67		48.78		124.18		Fassa Bortolo ZM136	EI3 - Stucco (CH), prod. Al Def. U
1.48	71.81	49.01	4339.95	20.73	2353.53	52.93	2174.92	99.97	4913.33	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79			EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def. U
8.10		168.51		1242.05		312.71		479.46		Fassa Bortolo Lastra EPS100	EI3 - Polystyrene foam slab (RER), prod. Al Def. U
55.13		3671.78		977.83		1541.70		3784.73		WB PoroTherm BioPlan 25-30-19.9	EI3 - Brick (RER), prod. Al Def. U
5.69		184.32		81.29		193.86		363.20		Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod. Al Def. U
1.05		219.78		22.67		48.78		124.18		Fassa Bortolo ZM136	EI3 - Stucco (CH), prod. Al Def. U

4.1.b. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale di tamponamento con trasmittanza termica pari a 0,15 W/m²K

CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI DI TAMPONAMENTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,15 W/m ² K			Conducibilità termica a secco [λ _{0,10-20}] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² K)	Stasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato												
BLOCCO YTONG CLIMAGOLD (EPD Ytong Blocchi Pontenure)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.48	0.15	19.23	0.05	0.01				443.31
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0.180	0.008	0.04						800	6.40	10.84	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 3	Blocco Ytong Climagold 300 - 45 cm	0.072	0.450	6.25						300	135.00	392.31	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0.00							8.60	14.56	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 4	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.470	0.006	0.01						1400	8.40	14.22	
Strato 5	Strato liminare interno			0.13										
BLOCCO YTONG CLIMAGOLD (Banca dati)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.48	0.15	19.23	0.05	0.01				474.09
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0.180	0.008	0.04						800	6.40	10.84	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 3	Blocco Ytong Climagold 300 - 45 cm	0.072	0.450	6.25						300	135.00	423.09	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0.00							8.60	14.56	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 4	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.470	0.006	0.01						1400	8.40	14.22	
Strato 5	Strato liminare interno			0.13										
CHIUSURA LEGGERA A SECCO (senza correzione ponti termici)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.82	0.15	9.14	0.37	0.05				997.00
	Strato 2	Rasante cementizio per lastre	0.290	0.005	0.02						1800	9.00	15.24	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 3	Lastre Aquapanel Outdoor	0.350	0.013	0.04						1150	14.38	172.10	
	Strato 4	Tessuto Tyvek			0.00							0.12	9.17	
	Strato 5	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.120	3.40						110	13.20	258.44	
	Elemento 2	Struttura metallica			0.00							3.65	108.19	
	Strato 6	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06						780	9.50	40.43	
	Strato 7	Intercapedine non ventilata	0.163	0.030	0.18									
	Strato 8	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.100	2.82						110	11.00	215.37	
	Elemento 3	Struttura metallica			0.00							2.85	84.48	
	Strato 9	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06						780	9.50	40.43	
Strato 10	Foglio di alluminio	220.000	0.000	0.00	2700	0.04	7.02							
Strato 11	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06	780	9.50	40.43							
Strato 12	Strato liminare interno			0.13										
CHIUSURA LEGGERA A SECCO (con correzione ponti termici struttura)	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	9.12	0.15	11.51	0.29	0.04				1150.40
	Strato 2	Rasante cementizio per lastre	0.290	0.005	0.02						1800	9.00	15.24	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 3	Lastre Aquapanel Outdoor	0.350	0.013	0.04						1150	14.38	172.10	
	Strato 4	Tessuto Tyvek			0.00							0.12	9.17	
	Strato 5	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.120	3.40						110	13.20	258.44	
	Elemento 2	Struttura metallica			0.00							3.65	108.19	
	Strato 6	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06						780	9.50	40.43	
	Strato 7	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.090	2.55						110	9.60	193.83	
	Strato 8	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.100	2.82						110	11.00	215.37	
	Elemento 3	Struttura metallica			0.00							2.85	84.48	
	Strato 9	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06						780	9.50	40.43	
Strato 10	Foglio di alluminio	220.000	0.000	0.00	2700	0.04	7.02							
Strato 11	Lastre in cartongesso	0.200	0.013	0.06	780	9.50	40.43							
Strato 12	Strato liminare interno			0.13										
DOPPIA PARETE IN LATERIZIO CON ISOLAMENTO INTERPOSTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.65	0.15	17.96	0.07	0.01				944.93
	Strato 2	Intonaco di finitura in calce e cemento	0.400	0.003	0.01						1300	3.90	6.60	
	Strato 3	Intonaco di fondo in calce e cemento	0.550	0.010	0.02						1530	15.30	25.90	
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 20x50x19,9	0.200	0.200	1.00						780	156.00	419.02	
	Elemento 1	Giunti di malta di calce e cemento			0.00						1800	18.00	33.37	
	Strato 5	Rinzaffo in calce e cemento	0.830	0.010	0.01						1800	18.00	33.37	
	Strato 6	Pannello rigido in lana di roccia	0.035	0.180	5.12						70	12.60	246.70	
	Strato 7	Foglio di carta kraft politenata	0.180	0.000	0.00							0.09	1.50	
	Strato 8	Mattioni forati in laterizio 8x24x24	0.261	0.080	0.31						700	58.00	150.42	
	Elemento 2	Giunti di malta di calce e cemento			0.00						1800	5.76	10.68	
Strato 9	Intonaco in calce e gesso	0.700	0.015	0.02	1150	17.25	17.37							
Strato 10	Strato liminare interno			0.13										
BLOCCO IN LATERIZIO PORIZZATO E CAPPOTTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0.04	6.86	0.15	16.61	0.04	0.01				1023.13
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0.750	0.005	0.01						1300	6.50	11.00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0.00							0.16	5.69	
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0.036	0.180	5.00						18	3.24	343.00	
	Strato 4	Blocchi in laterizio porizzato 25x30x19,9	0.150	0.250	1.67						900	225.00	604.35	
	Elemento 2	Giunti di malta di calce e cemento			0.00						1800	22.50	41.72	
Strato 5	Intonaco in calce e gesso	0.700	0.015	0.02	1150	17.25	17.37							
Strato 6	Strato liminare interno			0.13										

	GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgCFC-11eq./kg) [E-5]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq./kg) [E-5]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
1.47		48.26		20.41		52.12		96.43			Ytong Malla Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
45.77	51.82	2.30	231.82	714.42	807.38	590.63	831.05	731.30	1214.77		Ytong Climagold 300	EPD Ytong Blocchi Portenture
1.97		64.84		27.43		70.03		132.27			Malla collante Ytong Preocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19			Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
1.47		48.26		20.41		52.12		96.43			Ytong Malla Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
54.95	61.00	2346.03	2575.56	802.65	895.81	1548.16	1788.61	3067.61	3551.08		Ytong Climagold 300	EI3 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod, AI Def, U
1.97		64.84		27.43		70.03		132.27			Malla collante Ytong Preocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19			Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
2.06		67.86		28.70		73.29		138.42			Knauf Aquapanel Exterior Basecoat	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			Knauf Aquapanel Reinforcing Mesh	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
17.01		806.55		344.77		667.00		1680.55			Knauf Aquapanel Outdoor	EI3 - Fibre cement facing tile, large format (CH), prod, AI Def, U
0.23		0.12		7.52		7.74		6.62			Knauf Tyvek Stucco Wrap	EI3 - Polyethylene, high density (RER), prod, AI Def, U
20.18		840.47		967.68		1576.61		3037.80			Knauf Isoroccia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
9.88		27.32		404.34		201.48		-1150.20				EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18	81.44	629.55	4400.31	66.90	3114.99	138.04	4489.43	342.35	6581.11		Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, AI Def, U
16.82		700.39		806.40		1313.84		2531.50			Knauf Isoroccia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10				EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35			Lastra Knauf GKB + BV	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, AI Def, U
0.67		21.08		29.99		53.07		145.68				EI3 - Aluminium (RER), primary, prod, AI Def, U
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35			Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, AI Def, U
2.06		67.86		28.70		73.29		138.42			Knauf Aquapanel Exterior Basecoat	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79			Knauf Aquapanel Reinforcing Mesh	EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
17.01		806.55		344.77		667.00		1680.55			Knauf Aquapanel Outdoor	EI3 - Fibre cement facing tile, large format (CH), prod, AI Def, U
0.23		0.12		7.52		7.74		6.62			Knauf Tyvek Stucco Wrap	EI3 - Polyethylene, high density (RER), prod, AI Def, U
20.18		840.47		967.68		1576.61		3037.80			Knauf Isoroccia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
9.88		27.32		404.34		201.48		-1150.20				EI3 - Galvanized steel, at plant
15.14	94.40	630.35	4401.12	725.76	3773.85	1182.46	5533.84	2278.35	8517.10		Knauf Isoroccia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
16.82		700.39		806.40		1313.84		2531.50			Knauf Isoroccia 110	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10				EI3 - Galvanized steel, at plant
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35			Lastra Knauf GKB + BV	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, AI Def, U
0.67		21.08		29.99		53.07		145.68				EI3 - Aluminium (RER), primary, prod, AI Def, U
2.18		629.55		66.90		138.04		342.35			Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, AI Def, U
0.89		29.41		12.44		31.76		59.98			Fassa Bortolo IG21	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
3.50		115.36		48.79		124.59		235.31			Fassa Bortolo KC1	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
38.22		2545.76		677.82		1068.91		2624.08			WB PoroTherm BioPlan 20-50-19,9	EI3 - Brick (RER), prod, AI Def, U
4.55		147.46		65.03		155.09		290.56			Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod, AI Def, U
4.55	87.31	147.46	4976.70	65.03	2084.63	155.09	3529.17	290.56	7588.52		Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod, AI Def, U
19.27		802.27		923.69		1504.94		2899.71			Rockwool Airock HD K1	EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, AI Def, U
0.09		6.16		5.03		6.67		29.19			Rockwool Airock HD K1	EI3 - Kraft paper, unbleached (RER), prod, AI Def, U
13.72		913.86		243.32		383.71		941.98			Wienerberger forati 8x24x24	EI3 - Brick (RER), prod, AI Def, U
1.46		47.19		20.81		49.63		92.98			Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod, AI Def, U
1.05		219.78		22.67		48.78		124.18			Fassa Bortolo ZM136	EI3 - Stucco (CH), prod, AI Def, U
1.49		49.01		20.73		52.93		99.97			Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod, AI Def, U
0.35		28.55		9.17		24.94		61.79				EI3 - Glass fibre (RER), prod, AI Def, U
14.57	78.28	339.32	4490.76	2235.68	3347.17	562.88	2425.09	863.03	5296.90		Fassa Bortolo Lastra EPS100	EI3 - Polystyrene foam slab (RER), prod, AI Def, U
55.13		3671.78		977.63		1541.70		3784.73			WB PoroTherm BioPlan 25-30-19,9	EI3 - Brick (RER), prod, AI Def, U
5.69		184.32		81.29		193.86		363.20			Fassa Bortolo KV28	EI3 - Base plaster (CH), prod, AI Def, U
1.05		219.78		22.67		48.78		124.18			Fassa Bortolo ZM136	EI3 - Stucco (CH), prod, AI Def, U



4.2. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale portante

Dal confronto emerge che la soluzione costruttiva di chiusura verticale portante realizzata in calcestruzzo aerato autoclavato con il blocco Ytong Thermo (idonea per zone a bassa sismicità) ha un comportamento ambientale vantaggioso rispetto a tutte le altre. La soluzione Ytong Sismico ha un profilo ambientale meno favorevole rispetto all'Ytong Thermo poiché il blocco Sismico è caratterizzato da una maggiore trasmittanza termica e da una maggiore densità; in particolare la soluzione blocco Sismico è più critica sul fronte del potenziale di riscaldamento globale.

La soluzione in X-lam presenta un valore particolarmente elevato di energia primaria da fonte rinnovabile poiché in questo valore è compresa, oltre al consumo energetico di pre-produzione e produzione, anche l'energia *feedstock*. Inoltre, questa soluzione 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.

4.2.a. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale portante con trasmittanza termica pari a 0,21 W/m²K

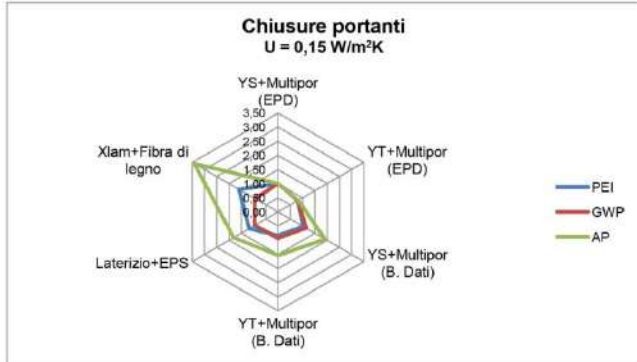
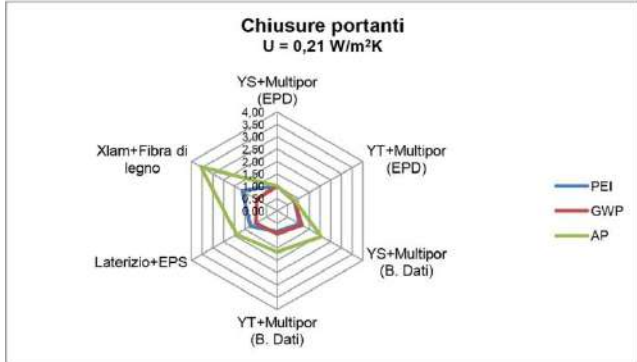
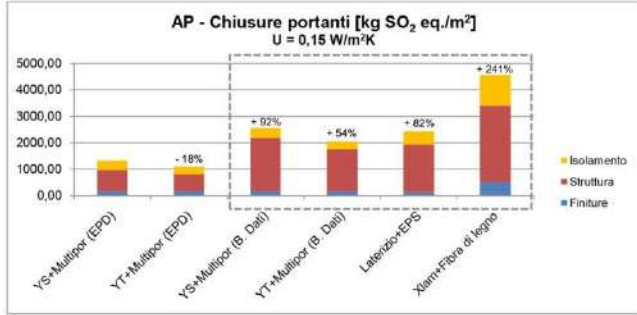
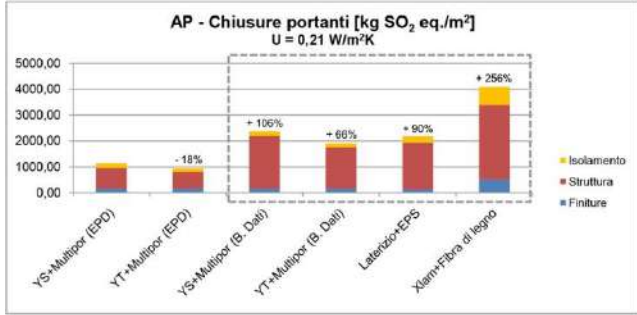
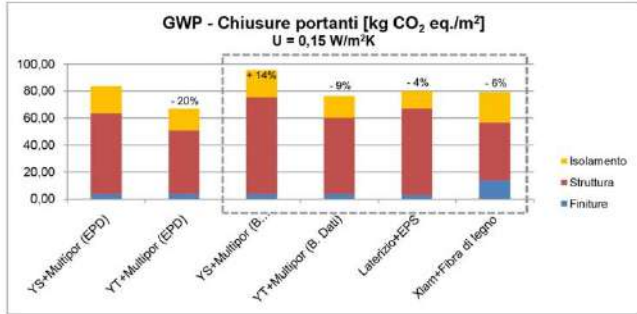
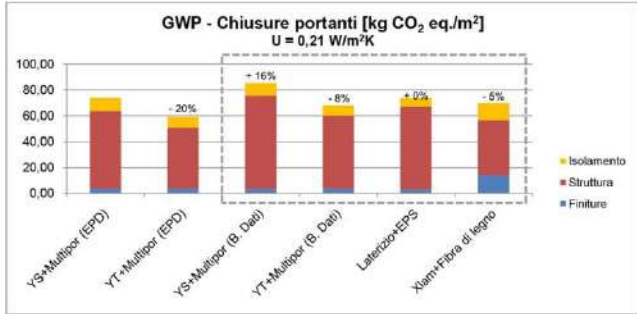
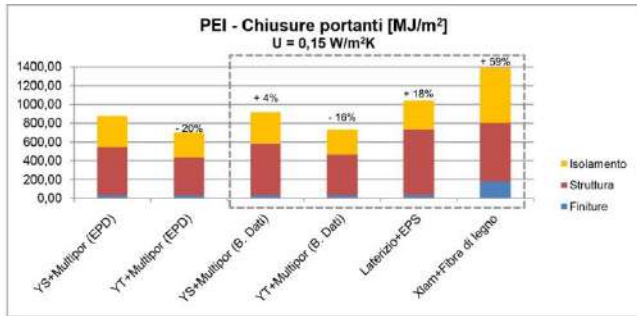
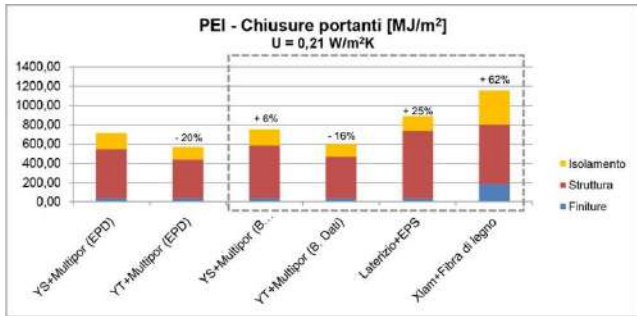
CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI PORTANTI CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,21 W/m ² K															
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato	Conducibilità termica a secco [λ _{se,0}] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)	
Dati da EPD Ytong Blecchi Pontenure	BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,180	0,006	0,03						800	4,80	8,13	
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,100	2,20						115	11,50	166,09	
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	4,51	0,22	15,98	0,07	0,02	575	172,50	501,29	711,78
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
		Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13									
	BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,180	0,006	0,03							800	4,80	8,13
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,080	1,80						115	9,20	132,88	
		Strato 4	Blocco Ytong Thermo 450	0,108	0,300	2,78	4,80	0,21	15,51	0,08	0,02	450	135,00	382,31	569,58
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
		Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13									
Dati da Banca Dati	BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,180	0,006	0,03							800	4,80	8,13
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,100	2,20						115	11,50	166,09	
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	4,51	0,22	15,98	0,07	0,02	575	172,50	540,62	751,11
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
		Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13									
	BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,180	0,006	0,03							800	4,80	8,13
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,080	1,80						115	9,20	132,88	
		Strato 4	Blocco Ytong Thermo 450	0,108	0,300	2,78	4,80	0,21	15,51	0,08	0,02	450	135,00	423,09	600,36
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
		Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99	
		Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
		Strato 6	Strato liminare interno			0,13									
BLOCCO IN LATERIZIO RETTIFICATO E CAPPOTTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04										
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01							1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99		
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,036	0,060	2,20	4,54	0,22	18,48	0,03	0,01	18	1,44	152,44	887,12	
	Strato 4	Blocchi in laterizio ponzato 30x25x19,9	0,140	0,300	2,14						860	258,00	692,99		
	Elemento 2	Giunti sottili di malta cementizia			0,00							4,50	7,62		
	Strato 5	Intonaco in calce e gesso	0,700	0,015	0,02						1150	17,25	17,37		
CHIUSURA A SECCO IN LEGNO CON PANNELLO XLAM	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04										
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01							1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,99		
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno	0,043	0,060	1,40	4,80	0,21	13,85	0,10	0,02	190	11,40	198,69	1155,30	
	Strato 4	Pannello in legno xlam	0,100	0,100	1,00						470	47,00	621,20		
	Strato 5	Pannello in fibra di legno flessibile	0,038	0,080	2,11						110	8,80	153,38		
	Elemento 2	Struttura metallica			0,00							2,95	84,48		
Strato 6	Doppia lastra in cartongesso	0,200	0,025	0,13						760	19,00	80,96			
Strato 7	Strato liminare interno			0,13											

GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgCFC-11eq./kg) [E-3]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq./kg) [E-3]	POCP strato (kgC ₂ H ₂ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₂ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati					
1.10	73.74	36.19	203.38	15.31	1153.39	39.09	1149.36	73.82	1588.92	Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U					
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U					
10.10		0.32		160.00		186.00		231.00		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor					
58.48		2.93		912.87		754.69		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure					
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Praocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U					
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U					
1.92		63.34		26.79		88.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U					
1.10		59.01		36.19		202.68		15.31		922.94	39.09	948.09	73.82	1339.59	Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U
0.35				26.55				9.17			24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U
8.08	0.26		128.00	148.80	184.80		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor								
45.77	2.30		714.42	590.63	731.30		Ytong Thermo 450	EPD Ytong Blocchi Pontenure								
1.44	47.50		20.09	51.30	96.89		Malta collante Ytong Praocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U								
0.35	26.55		9.17	24.94	61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U								
1.92	63.34		26.79	88.40	129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U								
1.10	85.47		36.19	3198.15	15.31		1266.38	39.09	2372.90		73.82		4574.21		Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U
0.35			26.55		9.17			24.94			61.79				TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U
10.10		0.32	160.00		186.00	231.00		Ytong Multipor 045		EPD Ytong Multipor						
70.21		2997.71	1025.86		1978.23	3919.72		Ytong Sismico 575		EI3 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod. Al Def, U						
1.44		47.50	20.09		51.30	96.89		Malta collante Ytong Praocol		EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U						
0.35		26.55	9.17		24.94	61.79		TG Textilglas		EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U						
1.92		63.34	26.79		88.40	129.19		Ytong RY50		EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U						
1.10		68.19	36.19		2546.41	15.31		1011.37		39.09	1905.65	73.82		3675.90	Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U
0.35			26.55			9.17				24.94		61.79			TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U
8.08	0.26		128.00	148.80		184.80	Ytong Multipor 045		EPD Ytong Multipor							
54.95	2346.03		802.85	1548.18		3067.61	Ytong Thermo 450		EI3 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod. Al Def, U							
1.44	47.50		20.09	51.30		96.89	Malta collante Ytong Praocol		EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U							
0.35	26.55		9.17	24.94		61.79	TG Textilglas		EI3 - Glass fibre (RER), prod. Al Def, U							
1.92	63.34		26.79	88.40		129.19	Ytong RY50		EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U							
1.49	73.61		49.01	4690.38		20.73	2181.56		52.93	2181.28		99.97	5078.54		Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U
0.35			26.55			9.17			24.94			61.79			Fassa Bortolo Lastra EPS100	EI3 - Polystyrene foam slab (RER), prod. Al Def, U
6.48		150.81	993.64		250.17	383.57		WB Porotherm BioPlan 30-25-19.9	EI3 - Brick (RER), prod. Al Def, U							
63.21		4210.30	1121.01		1767.82	4339.82		Fassa Bortolo ML203	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U							
1.03		33.93	14.35		36.64	69.21		Fassa Bortolo ZM136	EI3 - Stucco (CH), prod. Al Def, U							
1.05		219.78	22.67		48.78	124.18										
1.49		49.01	20.73		52.93	99.97		Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. Al Def, U							
0.35	26.55	9.17	24.94	61.79												
7.49	3415.54	228.50	390.60	1383.21	Pavatex Diffutherm	EI3 - Fibreboard, soft, without adhesives (CH), prod. Al Def, U										
42.96	3122.96	2061.26	2887.92	6535.73												
5.78	2636.56	178.39	301.51	1067.74	Pavatex Pavaltherm	EI3 - Fibreboard, soft, without adhesives (CH), prod. Al Def, U										
7.71	21.33	315.72	157.32	-898.10												
4.35	1259.09	133.80	276.09	684.70	Lastra Knauf GKB	EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod. Al Def, U										

4.2.b. Confronto LCA tra soluzioni alternative di chiusura verticale portante con trasmittanza termica pari a 0,15 W/m²K

CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI PORTANTI CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,15 W/m ² K										Conducibilità termica a secco [λ _{se,01}] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² ·K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² ·K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² ·K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m ² ·K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)	
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato																				
Dati da EPD Ytong Blocchi Portature	BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,190	0,006	0,03							800	4,80	8,13							
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99							
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,200	4,40							115	23,00	332,19							
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	6,72	0,15	19,33	0,04	0,01		575	172,50	501,29							877,87
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00								6,30	10,67							
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99								
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01							1400	8,40	14,22								
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13																	
	BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,190	0,006	0,03							800	4,80	8,13							
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99							
Strato 3		Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,160	3,60							115	18,40	265,75								
Strato 4		Blocco Ytong Thermo 450	0,108	0,300	2,78	6,59	0,15	18,09	0,05	0,01		450	135,00	392,31							702,46	
Elemento 2		Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00								6,30	10,67								
Dati da Banca Dati	BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,190	0,006	0,03							800	4,80	8,13							
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99							
		Strato 3	Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,200	4,40							115	23,00	332,19							
		Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	6,72	0,15	19,33	0,04	0,01		575	172,50	540,62							917,20
		Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00								6,30	10,67							
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99								
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01							1400	8,40	14,22								
	Strato 6	Strato liminare interno			0,13																	
	BLOCCO YTONG THERMO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																
		Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,190	0,006	0,03							800	4,80	8,13							
		Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99							
Strato 3		Pannelli isolanti Multipor 045	0,042	0,160	3,60							115	18,40	265,75								
Strato 4		Blocco Ytong Thermo 450	0,108	0,300	2,78	6,59	0,15	18,09	0,05	0,01		450	135,00	423,09							733,24	
Elemento 2		Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00								6,30	10,67								
BLOCCO IN LATERIZIO RETTIFICATO E CAPPOTTO	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																	
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01							1300	6,50	11,00								
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99								
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,036	0,160	4,40							18	2,88	304,89								
	Strato 4	Blocchi in laterizio ponzato 30x25x19,9	0,140	0,300	2,14	6,75	0,15	19,34	0,02	0,00		860	258,00	692,09							1039,56	
	Elemento 2	Giunti sottili di malta cementizia			0,00								4,50	7,62								
CHIUSURA A SECCO IN LEGNO CON PANNELLO XLAM	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04																	
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01							1300	6,50	11,00								
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00								0,16	5,99								
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno	0,043	0,120	2,79							190	22,80	397,38								
	Strato 4	Pannello in legno xlam	0,100	0,100	1,00	6,72	0,15	19,01	0,04	0,01		470	47,00	621,20							1392,34	
	Strato 5	Pannello in fibra di legno flessibile	0,038	0,100	2,63							110	11,00	191,72								
	Elemento 2	Struttura metallica			0,00								2,85	84,46								
Strato 6	Doppia lastra in cartongesso	0,200	0,025	0,13							760	19,00	80,86									
Strato 7	Strato liminare interno			0,13																		

GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgFCF-11eq./kg) [E-9]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgFCF-11eq./kg) [E-9]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
1.10		36.19		15.31		39.09		73.82		Ytong Malta Leggera Multipor	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
20.19		0.64		320.00		372.00		462.00		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor
58.48	83.84	2.93	203.70	912.87	1313.39	754.69	1335.36	634.43	1819.93	Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92		63.34		26.79		88.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.10		36.19		15.31		39.09		73.82		Ytong Malta Leggera Multipor	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
16.16		0.52		256.00		297.60		369.60		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor
45.77	67.09	2.30	202.93	714.42	1050.94	590.63	1096.90	731.30	1524.39	Ytong Thermo 450	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92		63.34		26.79		88.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.10		36.19		15.31		39.09		73.82		Ytong Malta Leggera Multipor	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
20.19		0.64		320.00		372.00		462.00		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor
70.21	95.57	2597.71	3198.47	1025.86	1426.38	1978.23	2558.90	3919.72	4805.21	Ytong Sismico 575	E13 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod, Al Def, U
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92		63.34		26.79		88.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.10		36.19		15.31		39.09		73.82		Ytong Malta Leggera Multipor	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
16.16		0.52		256.00		297.60		369.60		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor
54.95	76.27	2346.03	2546.67	802.85	1139.37	1548.18	2054.45	3067.61	3860.70	Ytong Thermo 450	E13 - Autoclaved aerated concrete block (CH), prod, Al Def, U
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92		63.34		26.79		88.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.49		49.01		20.73		52.93		99.97		Fassa Bortolo A50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		Fassa Bortolo Lastra EPS100	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
12.95		301.62		1987.27		500.33		767.14		WB Porotherm BioPlan 30-25-19.9	E13 - Polystyrene foam slab (RER), prod, Al Def, U
63.21	80.09	4210.30	4841.19	1121.01	3175.20	1767.82	2431.45	4339.82	5462.11	Fassa Bortolo ML203	E13 - Brick (RER), prod, Al Def, U
1.03		33.93		14.35		36.64		69.21		Fassa Bortolo ZM136	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.05		219.78		22.67		48.78		124.18		Fassa Bortolo ZM136	E13 - Stucco (CH), prod, Al Def, U
1.49		49.01		20.73		52.93		99.97		Fassa Bortolo A50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		Pavatax Diffutherm	E13 - Fibreboard, soft, without adhesives (CH), prod, Al Def, U
14.98		6831.06		457.00		781.20		2766.42		Pavatax Pavatherm	E13 - Fibreboard, soft, without adhesives (CH), prod, Al Def, U
42.96	79.07	3122.96	14605.73	2061.28	3218.18	2887.92	4557.29	6535.73	10585.18	Lastra Knauf GKB	E13 - Glued laminated timber, indoor use (RER), prod, Al Def, U
7.23		3295.70		220.48		376.89		1334.67		Pavatax Pavatherm	E13 - Fibreboard, soft, without adhesives (CH), prod, Al Def, U
7.71		21.33		315.72		157.32		-898.10		Lastra Knauf GKB	E13 - Galvanized steel, at plant
4.35		1259.09		133.80		276.09		684.70		Lastra Knauf GKB	E13 - Gypsum plasterboard (CH), prod, Al Def, U



4.3. Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante

Si sottolinea che per condurre questa valutazione comparativa è stata scelta come unità funzionale la trasmittanza termica, che costituisce la prestazione più importante per una chiusura verticale durante il periodo invernale. Nel paragrafo successivo, è riportata una seconda valutazione comparativa tra le medesime soluzioni nella quale l'unità funzionale scelta è lo sfasamento termico, che costituisce la prestazione più importante per una chiusura verticale durante il periodo estivo. Il doppio confronto mette in evidenza l'importanza di progettare soluzioni costruttive controllando contemporaneamente le molteplici prestazioni a cui la soluzione deve rispondere.

Complessivamente, l'isolante minerale Multipor ha un impatto ambientale medio, con un rapporto nei confronti degli altri materiali che varia in relazione all'indicatore considerato.

In merito ai consumi di energia il Multipor è più impattante di lana di roccia ed EPS, mentre la fibra di legno presenta un valore particolarmente elevato dovuto alla componente di energia primaria rinnovabile che comprende, oltre al consumo energetico di pre-produzione e produzione, l'energia *feedstock*.

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 compensazione degli impatti dovuti alla fase di produzione. Occorre precisare che, se si ipotizza come scenario di fine vita la termovalorizzazione, devono essere computate nel bilancio dell'intero ciclo di vita le emissioni prodotte dal processo di combustione, che vanno ad azzerare i benefici dell'assorbimento di CO₂ durante la crescita della pianta, innalzando dunque gli impatti complessivi.

Per quanto riguarda l'acidificazione il Multipor presenta impatti inferiori sia alla lana di roccia che alla fibra di legno.

4.3.a. Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante con trasmittanza termica pari a 0,20 W/m²K

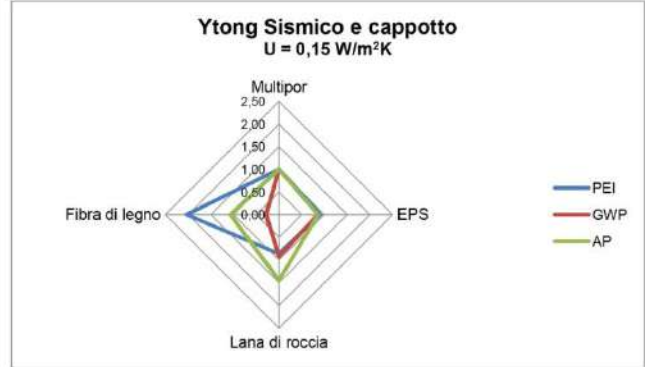
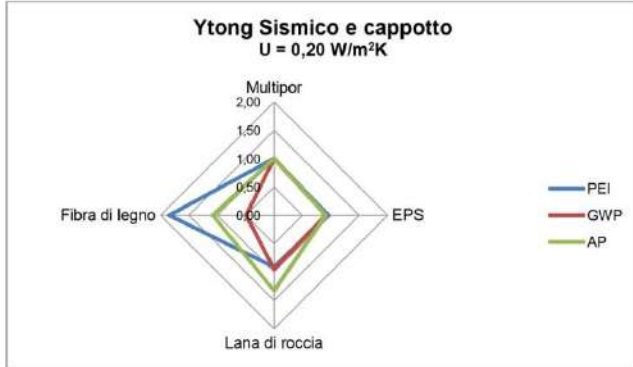
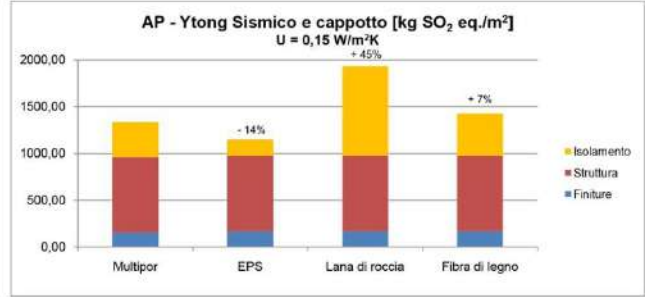
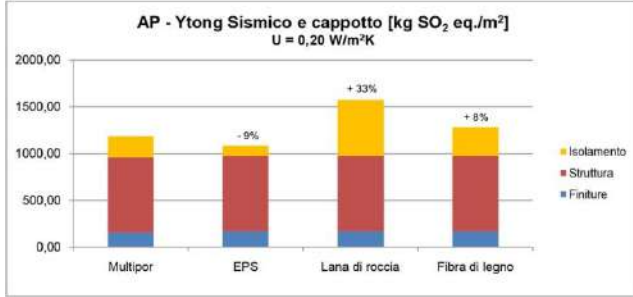
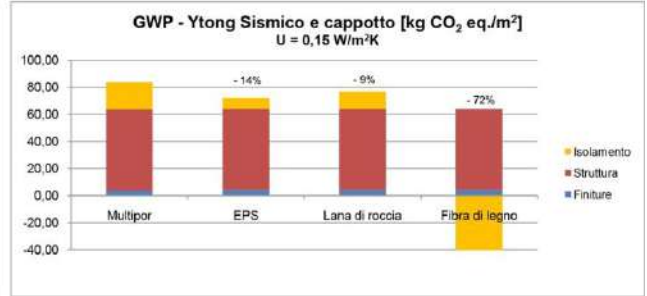
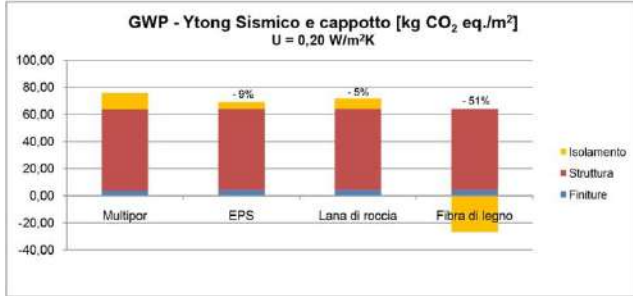
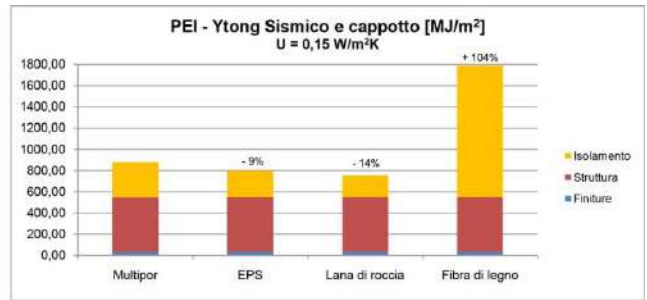
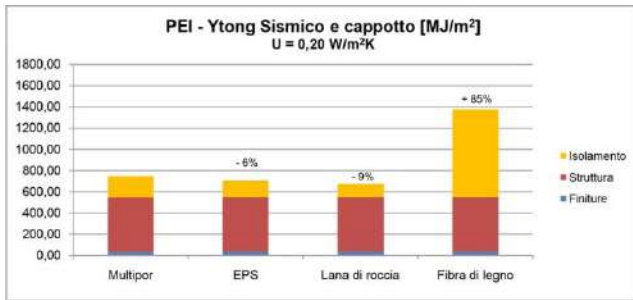
CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI CON BLOCCO SISMICO E CAPPOTTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,20 W/m ² K			Conducibilità termica a secco [λ _{10,00}] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² ·K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² ·K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² ·K)	Sfasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m ² ·K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato												
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	5,01	0,20	16,62	0,06	0,01				745,00
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,160	0,006	0,03						800	4,80	8,13	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli Multipor 045	0,042	0,120	2,70						115	13,80	199,31	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN EPS	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	5,09	0,20	14,98	0,07	0,01				703,78
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,036	0,100	2,80						18	1,80	155,22	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN LANA DI ROCCIA	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	5,04	0,20	15,97	0,06	0,01				676,77
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in lana di roccia	0,036	0,100	2,75						90	9,00	128,21	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN FIBRA DI LEGNO	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	5,08	0,20	20,47	0,03	0,01				1375,38
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno rigida	0,043	0,120	2,79						190	22,80	826,82	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										

	GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgCFC-11eq./kg) [E-4]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq./kg) [E-4]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₂ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₂ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
1.10			36.19		15.31		39.09		73.82		Ytong Malta Leggera Mullipor	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
12.12			0.39		192.00		223.20		277.20		Ytong Mullipor 045	EPD Ytong Mullipor
58.48	75.76	2.93	203.44	912.87	1185.39	754.69	1186.56	934.43	1635.12		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44			47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92			63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.49			49.01		20.73		52.93		99.97		Fassa Bortolo A50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
5.15			126.00		3150.00		106.00		108.00		Fassa Bortolo Lastra EPS100	EPD EUMEPS (Produttori EU di EPS) su pannelli EPS 20 kg/m ³
58.48	69.18	2.93	341.87	912.87	4148.82	754.69	1085.20	934.43	1492.07		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44			47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92			63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.49			49.01		20.73		52.93		99.97		Fassa Bortolo A50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
7.91			296.81		324.58		597.45		812.87		Rockwool Frontrock Max E	EPD Rockwool isolanti con densità da 61 a 120 kg/m ³
58.48	71.94	2.93	512.69	912.87	1323.39	754.69	1574.65	934.43	2196.94		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44			47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92			63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
1.49			49.01		20.73		52.93		99.97		Fassa Bortolo A50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
-26.88			1132.50		260.58		301.28		537.42		Pavatex Diffutherm	EPD Isolanti Pavatex
58.48	37.15	2.93	1348.37	912.87	1259.40	754.69	1278.48	934.43	1921.49		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44			47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preocol	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
0.35			26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	E13 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
1.92			63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	E13 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U

4.3.b. Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante con trasmittanza termica pari a 0,15 W/m²K

CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI CON BLOCCO SISMICO E CAPPOTTO CON TRASMITTANZA TERMICA PARI A 0,15 W/m ² K			Conducibilità termica a secco [λ _{10,25}] (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m ² K/W)	Resistenza termica chiusura (m ² K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m ² K)	Stato termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato												
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	6,72	0,15	19,33	0,04	0,01				877,87
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,180	0,006	0,03						800	4,80	8,13	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli Multipor D45	0,042	0,200	4,40						115	23,00	332,19	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precool			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN EPS	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	6,69	0,15	15,65	0,06	0,01				796,92
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,036	0,160	4,40						18	2,88	248,36	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precool			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN LANA DI ROCCIA	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	6,69	0,15	17,86	0,05	0,01				753,69
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in lana di roccia	0,036	0,160	4,40						90	14,40	205,13	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precool			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN FIBRA DI LEGNO	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04	6,47	0,15	24,70	0,01	0,00				1788,79
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno rigida	0,043	0,180	4,19						190	34,20	1240,23	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10						575	172,50	501,29	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Precool			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										

GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)	ODP strato (kgFCF-1eq./kg) [E-3]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgFCF-1eq./kg) [E-3]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati					
1.10	83.84	36.19	203.70	15.31	1313.39	39.09	1335.36	73.82	1819.93	Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U					
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U					
20.19		0.64		320.00		372.00		462.00		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor					
58.48		2.93		912.87		754.69		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure					
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Preccol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U					
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U					
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U					
1.49		72.27		49.01		417.47		20.73		6038.82	52.93	1150.00	99.97	1556.87	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35				26.55				9.17			24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
8.24				201.60				5040.00			172.80		172.60		Fassa Bortolo Lastra EPS100	EPD EUMEPS (Produttori EU di EPS) su pannelli EPS 20 kg/m ³
58.48	2.93		912.87	754.69	934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure								
1.44	47.50		20.09	51.30	96.89		Malta collante Ytong Preccol	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U								
0.35	26.55		9.17	24.94	61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U								
1.92	63.34		26.79	68.40	129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U								
1.49	76.69		49.01	690.77	20.73		1518.14	52.93	1933.11		99.97		2684.66		Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35			26.55		9.17			24.94			61.79				TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
12.66			474.90		519.32			955.92			1300.59				Rockwool Frontrock Max E	EPD Rockwool isolanti con densità da 61 a 120 kg/m ³
58.48		2.93	912.87		754.69	934.43		Ytong Sismico 575		EPD Ytong Blocchi Pontenure						
1.44		47.50	20.09		51.30	96.89		Malta collante Ytong Preccol		EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U						
0.35		26.55	9.17		24.94	61.79		TG Textiglas		EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U						
1.92		63.34	26.79		68.40	129.19		Ytong RY50		EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U						
1.49		23.71	49.01		1914.62	20.73		1389.69		52.93	1429.12	99.97		2190.20	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35			26.55			9.17				24.94		61.79			TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
-40.32			1698.75			390.67				451.92		806.13			Pavatex Diffutherm	EPD Pavatex
58.48	2.93		912.87	754.69		934.43	Ytong Sismico 575		EPD Ytong Blocchi Pontenure							
1.44	47.50		20.09	51.30		96.89	Malta collante Ytong Preccol		EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U							
0.35	26.55		9.17	24.94		61.79	TG Textiglas		EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U							
1.92	63.34		26.79	68.40		129.19	Ytong RY50		EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U							

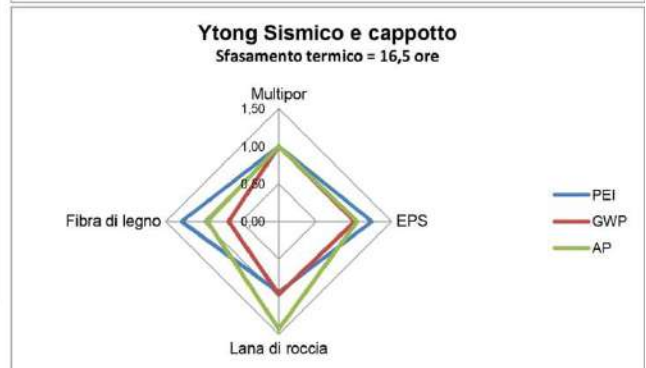
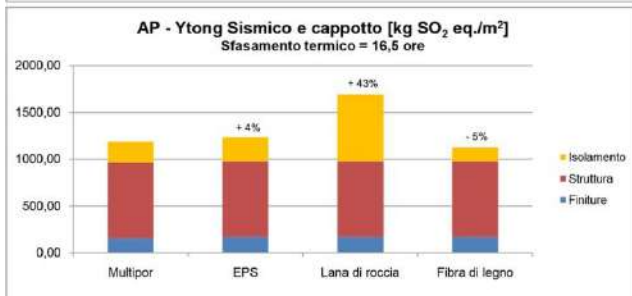
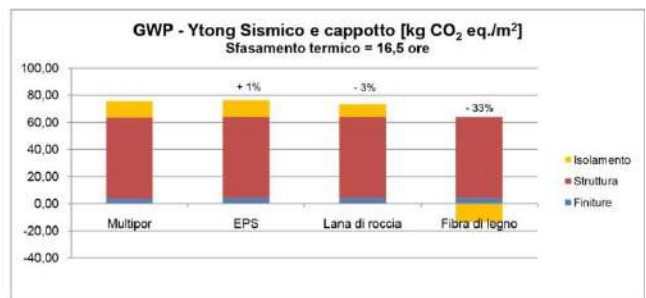
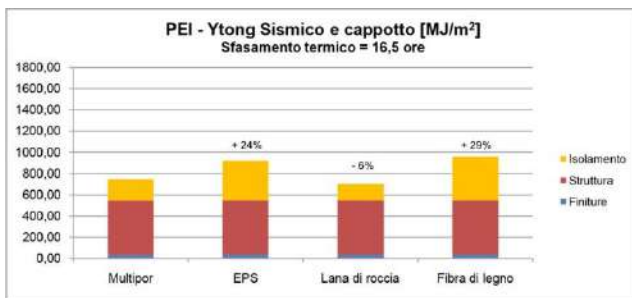


4.4. Confronto LCA tra soluzioni alternative di isolamento termico a cappotto per chiusura verticale portante con sfasamento termico di 16,5 ore

Il confronto tra materiali isolanti per cappotto è stato riprodotto anche ponendo l'accento sulla prestazione di inerzia termica della chiusura verticale, particolarmente importante per garantire il benessere termico estivo, ma utile ai fini del comfort e della riduzione dei consumi energetici anche in periodo invernale. Per questo scopo è stato scelto come unità funzionale lo sfasamento termico, il principale descrittore dell'inerzia termica. Il valore scelto di 16,5 ore è quello dato dal pacchetto murario con isolante minerale Multipor.

I rapporti tra i materiali si modificano rispetto al confronto a parità di trasmittanza termica: la fibra di legno, caratterizzata da densità e calore specifico elevati, richiede un minor quantitativo di materiale per raggiungere la prestazione e dunque presenta un profilo ambientale migliore rispetto al paragone precedente (ma con un aumento significativo della prestazione di trasmittanza termica), mentre l'EPS, caratterizzato da densità e calore specifico ridotti, richiede un quantitativo di materiale elevato e dunque presenta il profilo ambientale peggiore (ma con una riduzione significativa della prestazione di trasmittanza termica). Lana di roccia e Multipor soddisfano la prestazione di inerzia termica con all'incirca la stessa quantità di materiale e con un profilo ambientale simile, tranne che per l'acidificazione, in cui la lana di roccia ha un impatto considerevolmente maggiore.

Nell'insieme dunque il Multipor si colloca in una posizione intermedia e presenta un profilo ambientale complessivamente migliore.



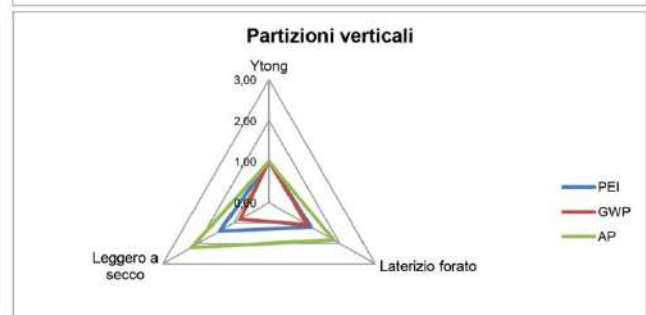
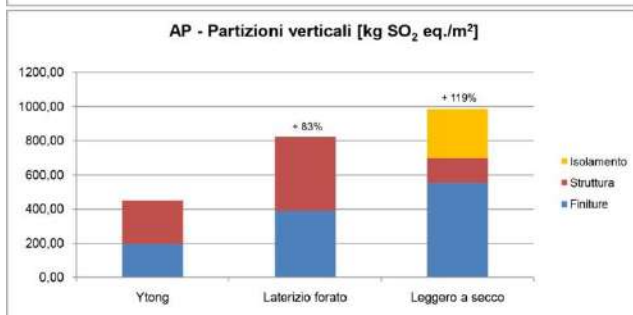
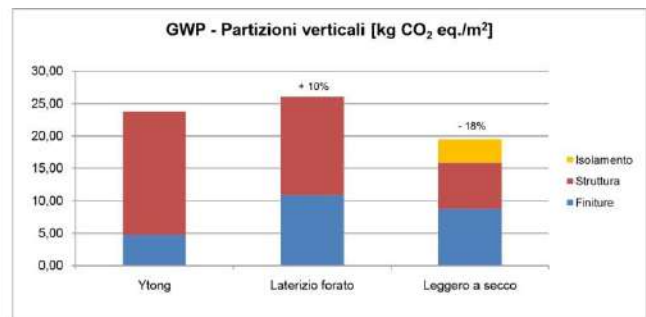
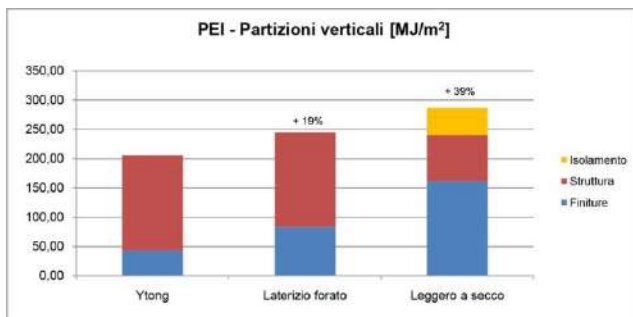
CONFRONTO CHIUSURE VERTICALI CON BLOCCO SISMICO E CAPPOTTO CON SFASAMENTO TERMICO DI 16,5 ORE			Conducibilità termica a secco $[\lambda_{10, \sigma_2}]$ (W/mK)	Spessore (m)	Resistenza termica strato (m^2K/W)	Resistenza termica chiusura (m^2K/W)	Trasmittanza termica chiusura (W/m^2K)	Stasamento termico chiusura (h)	Fattore di attenuazione termica chiusura	Trasmittanza termica periodica chiusura (W/m^2K)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato												
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO MULTIPOR	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
	Strato 2	Rasatura armata Malta Leggera Multipor	0,160	0,006	0,03						800	4,80	8,13	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli Multipor 045	0,042	0,120	2,70						115	13,80	199,31	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	5,01	0,20	16,82	0,06	0,01	575	172,50	501,29	745,00
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN EPS	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	0,036	0,240	6,69						18	4,32	372,54	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	8,97	0,11	16,82	0,05	0,01	575	172,50	501,29	921,10
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN LANA DI ROCCIA	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in lana di roccia	0,036	0,120	3,30						90	10,80	153,65	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	5,59	0,18	16,56	0,06	0,01	575	172,50	501,29	702,41
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										
BLOCCO YTONG SISMICO E CAPPOTTO IN FIBRA DI LEGNO	Strato 1	Strato liminare esterno			0,04									
	Strato 2	Rasatura con collante a base cementizia	0,750	0,005	0,01						1300	6,50	11,00	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 3	Pannelli in fibra di legno rigida	0,043	0,060	1,40						190	11,40	413,41	
	Strato 4	Blocco Ytong Sismico 575	0,143	0,300	2,10	3,68	0,27	16,39	0,07	0,02	575	172,50	501,29	961,97
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol			0,00							6,30	10,67	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro			0,00							0,16	5,69	
	Strato 5	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0,470	0,006	0,01						1400	8,40	14,22	
Strato 6	Strato liminare interno			0,13										

GWP strato (kgCO ₂ eq/m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq/m ²)	ODP strato (kgCFC-11eq/kg) [E-9]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq/kg) [E-9]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq/m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq/m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq/m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq/m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq/m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq/m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
1.10	75.76	36.19	203.44	15.31	1185.39	39.09	1186.56	73.82	1635.12	Ytong Malta Leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
12.12		0.39		192.00		223.20		277.20		Ytong Multipor 045	EPD Ytong Multipor
58.48		2.93		912.87		754.89		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Precool	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
1.49	76.39	49.01	518.27	20.73	8558.82	52.93	1236.40	99.97	1643.27	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
12.36		302.40		7560.00		259.20		259.20		Fassa Bortolo Lastra EPS100	EPD EUMEPS (Produttori EU di EPS) su pannelli EPS 20 kg/m ³
58.48		2.93		912.87		754.89		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Precool	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
1.49	73.53	49.01	572.05	20.73	1388.31	52.93	1694.14	99.97	2359.52	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
9.49		356.17		389.49		716.94		975.45		Rockwool Frontrock Max E	EPD Rockwool isolanti con densità da 61 a 120 kg/m ³
58.48		2.93		912.87		754.89		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Precool	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
1.49	50.59	49.01	782.12	20.73	1129.11	52.93	1127.84	99.97	1652.78	Fassa Bortolo A50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
-13.44		566.25		130.29		150.64		268.71		Pivatex Diffutherm	EPD isolanti Pivatex
58.48		2.93		912.87		754.69		934.43		Ytong Sismico 575	EPD Ytong Blocchi Pontenure
1.44		47.50		20.09		51.30		96.89		Malta collante Ytong Precool	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U
0.35		26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textiglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod. AI Def. U
1.92		63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod. AI Def. U

4.5. Confronto LCA tra soluzioni alternative di partizione interna

La soluzione basata sui blocchi Ytong ha lo stesso spessore dell'alternativa in laterizi forati, mentre la soluzione leggera necessita di uno spessore leggermente maggiore; quest'ultima variante richiede anche l'inserimento di un pannello isolante tra le strutture metalliche di sostegno per ovviare all'effetto cassa acustica dell'intercapedine e garantire quindi un buon isolamento acustico.

CONFRONTO PARTIZIONI VERTICALI			Spessore (cm)	Spessore totale partizione (cm)	Densità (kg/m ³)	Quantità di materiale (kg)	PEI strato (MJ/m ²)	PEI totale per 1 m ² di chiusura (MJ/m ²)	GWP strato (kgCO ₂ eq./m ²)	GWP totale per 1 m ² di chiusura (kgCO ₂ eq./m ²)
Tipologia di chiusura	N° Strato	Descrizione strato								
BLOCCO SOTTILE YTONG (EPD Ytong Blocchi Pontenure)	Strato 1	Intonaco di finitura in calce e gesso	0.15	11.50	1150	1.73	1.74	205.84	0.11	23.77
	Strato 2	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.60		1400	8.40	14.22		1.92	
	Elemento 1	Rete di armatura in fibra di vetro				0.16	5.69		0.35	
	Strato 3	Blocco sottile Ytong - 10 cm	10.00		550	55.00	159.83		18.65	
	Elemento 2	Giunti sottili di Malta collante Ytong Preocol				1.60	2.71		0.37	
	Elemento 3	Rete di armatura in fibra di vetro				0.16	5.69		0.35	
	Strato 4	Rasatura armata Malta Ytong RY50	0.60		1400	8.40	14.22		1.92	
	Strato 5	Intonaco di finitura in calce e gesso	0.15		1150	1.73	1.74		0.11	
LATERIZIO FORATO	Strato 1	Intonaco di finitura in calce e gesso	0.25	11.50	1150	2.88	2.90	244.59	0.18	26.04
	Strato 2	Intonaco di fondo in calce e cemento	1.50		1530	22.95	38.85		5.26	
	Strato 3	Mattoni forati in laterizio 8x24x24	8.00		700	56.00	150.42		13.72	
	Elemento 1	Giunti di malta di calce e cemento				5.76	10.68		1.46	
	Strato 4	Intonaco di fondo in calce e cemento	1.50		1530	22.95	38.85		5.26	
	Strato 5	Intonaco di finitura in calce e gesso	0.25		1150	2.88	2.90		0.18	
PARTIZIONE LEGGERA A SECCO	Strato 1	Lastra in cartongesso	1.25	12.50	760	9.50	40.43	286.97	2.18	19.52
	Strato 2	Lastra in cartongesso	1.25		760	9.50	40.43		2.18	
	Elemento 1	Struttura metallica	7.50			2.64	78.25		7.15	
	Strato 3	Pannello rigido in lana di roccia (60 mm)			40	2.40	46.99		3.67	
	Strato 4	Lastra in cartongesso	1.25		760	9.50	40.43		2.18	
	Strato 5	Lastra in cartongesso	1.25		760	9.50	40.43		2.18	



La soluzione in blocchi Ytong, rispetto all'indicatore del riscaldamento globale, risulta allineata alla soluzione in laterizio, mentre ha prestazioni inferiori rispetto alla soluzione a secco.

Per quanto riguarda invece energia primaria e acidificazione, le prestazioni ambientali della soluzione Ytong risultano sempre migliori rispetto a quelle delle soluzioni alternative (in particolare l'acidificazione è decisamente inferiore).

ODP strato (kgCFC-11eq./kg) [E-9]	ODP totale per 1 m ² di chiusura (kgCFC-11eq./kg) [E-9]	POCP strato (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	POCP totale per 1 m ² di chiusura (kgC ₂ H ₄ eq./m ²) [E-5]	AP strato (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	AP totale per 1 m ² di chiusura (kgSO ₂ eq./m ²) [E-4]	EP strato (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	EP totale per 1 m ² di chiusura (kgPO ₄ eq./m ²) [E-5]	Prodotti	Voce di banca dati
21.98	236.72	2.27	372.61	4.88	450.09	12.42	729.35	Fassa Bortolo ZL25	EI3 - Stucco (CH), prod, Al Def, U
63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong Malta leggera Multipor	EI3 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
0.94		291.06		240.63		297.94		Ytong Blocco sottile	EPD Ytong Blocchi Pontenure
12.06		5.10		13.03		24.61		Malta collante Ytong Preocol	EI3 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
26.55		9.17		24.94		61.79		TG Textilglas	EI3 - Glass fibre (RER), prod, Al Def, U
63.34		26.79		68.40		129.19		Ytong RY50	EI3 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U
21.98		2.27		4.88		12.42		Fassa Bortolo ZL25	EI3 - Stucco (CH), prod, Al Def, U
36.63		1380.40		3.78		418.06		8.13	823.36
173.04	73.19		186.88	352.97	Fassa Bortolo KC1		EI3 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U		
913.86	243.32		383.71	941.98	Wienerberger forati 8x24x24		EI3 - Brick (RER), prod., Al Def, U		
47.19	20.81		49.63	92.98	Fassa Bortolo KV28		EI3 - Base plaster (CH), prod, Al Def, U		
173.04	73.19		186.88	352.97	Fassa Bortolo KC1		EI3 - Cement mortar (CH), prod, Al Def, U		
36.63	3.78		8.13	20.70	Fassa Bortolo ZL25		EI3 - Stucco (CH), prod, Al Def, U		
629.55	2690.76		66.90	735.99	138.04		984.56	342.35	
629.55		66.90	138.04		342.35	Lastra Knauf GKB		EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, Al Def, U	
19.76		292.45	145.73		-831.92			EI3 - Galvanized steel, at plant	
152.81		175.94	286.66		552.33	Knauf Isoroccia 110		EI3 - Rock wool, packed (CH), prod, Al Def, U	
629.55		66.90	138.04		342.35	Lastra Knauf GKB		EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, Al Def, U	
629.55		66.90	138.04		342.35	Lastra Knauf GKB		EI3 - Gypsum plasterboard (CH), prod, Al Def, U	

YTONG Xella Italia S.r.l.

Via Zanica 19K
Località Padergnone
24050 Grassobbio (BG)

Per informazioni:

www.ytong.it
ytong-it@xella.com

Ufficio Tecnico

Tel.: +39 035 45 22 272
ytong-tecnici@xella.com

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 2018.01