



POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Corso di Laurea Magistrale in Architettura
T12 - Progettazione Tecnologica e Ambientale

Sistemi innovativi di isolamento termico a confronto:
Vacuum Insulated Panels, Phase Change Materials, Materiali Termoriflettenti

Relatore:
Prof. Andrea CAMPIOLI

Tesi di laurea di:
Paola DUCA matr. 851827
Roberta RONZONI matr. 851830

ANNO ACCADEMICO 2016 - 2017

ABSTRACT

Le esigenze e gli obiettivi della progettazione contemporanea, soprattutto negli ultimi quindici anni, sono cambiati e si sono rinnovati per far fronte alle problematiche ambientali attuali. Nel settore delle costruzioni, la scelta dell'isolamento termico rappresenta un aspetto determinante ed è il primo passo per contenere i consumi e, quindi, per costruire in modo energeticamente efficiente. Consapevoli del fatto che scegliere un materiale isolante è solo uno dei molteplici fattori che influenzano un progetto, l'obiettivo della tesi è stato quello di mostrare le potenzialità e le criticità di tre isolanti di ultima generazione: i Vacuum Insulated Panels (VIP), i Phase Change Materials (PCM) e i Materiali Termoriflettenti. L'analisi ha messo a confronto questi tre sistemi di isolamento ultraperformanti, partendo da alcuni aspetti come lo spessore ridotto, l'applicazione e l'installazione, la praticità, i costi, i consumi energetici dell'edificio e infine gli impatti ambientali.

Dopo uno studio a livello compositivo, è stata svolta una ricerca per censire gli edifici nei quali sono stati utilizzati e sperimentati questi tre sistemi di isolamento: il panorama esaminato è quello europeo degli ultimi quindici anni, considerando sia edifici riqualificati, che interventi di nuova costruzione. Successivamente, sono stati raccolti i dati riguardanti i prodotti specifici delle maggiori ditte e fornitori, analizzando tutti i loro campi di applicazione e valutando le modalità di installazione dei prodotti. Questo censimento ha riguardato non solo le caratteristiche specifiche del prodotto, ma anche i relativi costi; sulla base dei dati reperiti, sono stati poi calcolati i prezzi medi per ciascuna categoria di isolante. Infine, a partire da un intervento di riqualificazione di due edifici residenziali a Madrid, è stata svolta una valutazione LCA screening, a partire dalle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto del sistema facciata in tre casi differenti. Alla parete esterna esistente, composta da intonaco interno e mattoni forati, è stato applicato un cappotto esterno con tre materiali diversi, lana di vetro, VIP e isolanti termoriflettenti, e relativi rivestimenti.

Fin dallo studio della loro composizione e struttura, è emersa una difficoltà nel confronto tra i materiali a cambiamento di fase e gli altri due isolanti ultraperformanti. Questo poiché i PCM sono un sistema di accumulo di calore sotto forma di microcapsule, integrate in diversi materiali, a differenza dei pannelli VIP e degli isolanti termoriflettenti che si presentano come prodotti con dimensioni definite. Inoltre, il censimento dei casi studio e delle ditte produttrici ha messo in evidenza che i PCM sono stati applicati prevalentemente negli edifici ad uso terziario e, spesso, a supporto di isolanti tradizionali. Un'analisi più approfondita riguardante la varietà dei materiali a cambiamento di fase è necessaria per poter fare un confronto più efficace, anche in termini economici e ambientali.

La valutazione LCA screening ha riguardato dieci indicatori: GWP (Global Warming Potential), ODP (Ozone Depletion Potential), AP (Acidification Potential), EP (Eutrophication Potential), POCP (Photochemical Ozone Creation Potential), ADP (Abiotic Depletion Potential), ADPF (Abiotic Depletion Potential for Fossil resources), PERT (Renewable Primary Energy), PENRT (Non-Renewable Primary Energy) e FW (Use of Net Fresh Water). I risultati ottenuti hanno permesso di individuare sia le fasi più impattanti lungo l'intero ciclo di vita dei materiali isolanti, sia la percentuale di impatto che ciascun isolante e il suo rivestimento ha rispetto al sistema facciata. Lo studio svolto può essere integrato, per una maggiore completezza di informazioni, con i dati degli impatti della fase di riuso e riciclo.

INDICE

1. INTRODUZIONE: INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA E OBIETTIVI DELLA RICERCA

1.1 NUOVE ESIGENZE E NUOVI MATERIALI

pag. 9

- 1.1.1 Le problematiche ambientali di oggi: responsabilità e potenzialità del settore dell'edilizia
- 1.1.2 L'isolamento termico come possibile risposta alle sfide della progettazione di oggi: isolante tradizionale o di nuova generazione?
- 1.1.3 Verso gli isolanti di ultima generazione: Vacuum Insulated Panels, Phase Change Materials, Isolanti Termoriflettenti Stratificati

1.2 EFFICIENZA ENERGETICA E INNOVAZIONE

pag. 13

- 1.2.1 Le esigenze degli utenti di oggi in relazione all'organismo edilizio
- 1.2.2 Il ruolo dell'isolamento termico: da "elemento nascosto" a "elemento dichiarato" negli edifici
- 1.2.3 Il problema dell'edilizia degli anni Settanta - Novanta: l'assenza di strategie per il risparmio energetico

2. INNOVAZIONE NEI SISTEMI DI ISOLAMENTO ULTRAPERFORMANTI

2.1 PANNELLI ISOLANTI SOTTOVUOTO - VACUUM INSULATED PANELS (VIP)

pag. 19

- 2.1.1 Caratteristiche principali e processo produttivo
- 2.1.2 Vantaggi e svantaggi
- 2.1.3 Campi di applicazione

2.2 MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE - PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)

pag. 25

- 2.2.1 Caratteristiche principali e processo produttivo
- 2.2.2 Vantaggi e svantaggi
- 2.2.3 Campi di applicazione

2.3 ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI

pag. 32

- 2.3.1 Caratteristiche principali e processo produttivo
- 2.3.2 Vantaggi e svantaggi
- 2.3.3 Campi di applicazione

3. VIP, PCM, ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: APPLICAZIONI

3.1 APPLICAZIONI A CONFRONTO: CONSIDERAZIONI SU ESEMPI EUROPEI ED EXTRAEUROPEI

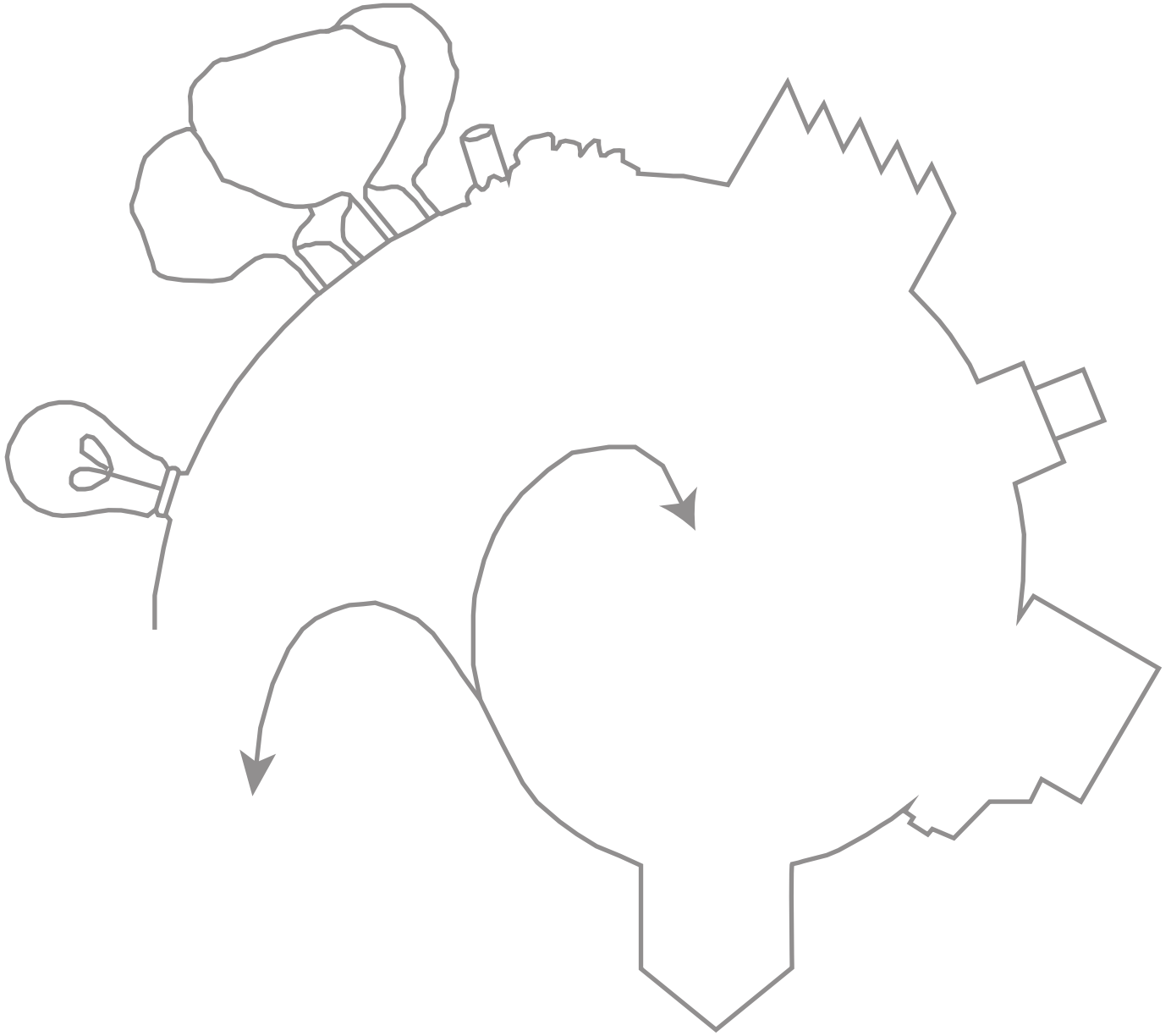
pag. 38

3.2 BREVE ANALISI DI ALCUNI CASI STUDIO

pag. 44

- 3.2.1 Vacuum Insulated Panels: applicazioni
 - a. Rolf Dish Solar Architektur, Plusenergiehäuser, Friburgo, 2006
 - b. Architekten Stein Hemmes Wirtz, Energiehaus Farschweiler, Farschweiler, 2011
 - c. Gerber Architekten, Quarter of Nations, Amburgo, 2014
 - d. SSP SchürmannSpannel, TBZ Cologne, Colonia, 2015
 - e. National Research Council, Test hut (casetta di prova), Campus a Ottawa, Ontario, Canada, 2009
 - f. National Research Council, Reroofed NRC office building, Ontario, Canada, 2011
- 3.2.2 Phase Change Materials: applicazioni
 - a. Beat Kampfen Büro Fur Architektur, Marché International Support Office, Kempptahl, 2007
 - b. Christensen & Co Arkitekter, Green Lighthouse, Copenhagen, 2008
 - c. Deltasync-Public Domain Architects, Floating Pavilion, Rotterdam, 2010
 - d. Consarc Architects, Icon Innovation Centre, Daventry, 2011
 - e. Zillerplus Architekten, Smart is Green, Monaco, 2013
 - f. DesignInc Melbourne e Mick Pearce, Council House 2, Melbourne, 2006
- 3.2.3 Isolanti Termoriflettenti Stratificati: applicazioni
 - a. Atelier 2, CasaClima Lombardia, Colognola, 2008
 - b. Arch. Randazzo, Residenza Ferrari, Caprino Bergamasco, 2009
 - c. Eramo Legno System, Nuova Sede Eramo Paolo, L'Aquila, 2011
 - d. Atelier 2, La Corte del Futuro, Bergamo, 2011
 - e. Zaha Hadid Architects, City Life, Milano, 2014
 - f. Atelier2, C-ASA progetto sperimentale, Politecnico di Lecco, Lecco, 2015

3.3 LA PRODUZIONE DI MATERIALI ULTRAPERFORMANTI NEL MERCATO ATTUALE	<i>pag. 64</i>
3.3.1 La ditta Porextherm e i suoi prodotti VIP: il pannello Vacupor	
3.3.2 La ditta Rigips e i suoi prodotti PCM: il pannello Alba Balance	
3.3.3 La ditta Actis e i suoi Termoriflettenti Stratificati: il rotolo Actis Triso Super 10	
3.4 ISOLANTI DI ULTIMA GENERAZIONE A CONFRONTO	<i>pag. 76</i>
3.4.1 Confronto in termini di applicazione: VIP, PCM e Termoriflettenti stratificati	
3.4.2 Confronto in termini economici: VIP, PCM e Termoriflettenti stratificati	
3.4.3 Confronto in termini ambientali: VIP e Termoriflettenti stratificati	
4. VIP E ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: RIQUALIFICAZIONE DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE A MADRID	
4.1 STRATEGIE PREVENTIVE PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE: LA METODOLOGIA LCA	<i>pag. 83</i>
4.1.1 LCA screening: la diversa scala di dettaglio di una valutazione del ciclo di vita	
4.2 LCA SCREENING: IL CASO STUDIO DI MADRID	<i>pag. 85</i>
4.2.1 Valutazione LCA Screening relativa ad un edificio residenziale a Madrid	
4.2.2 Analisi e confronto dei risultati ottenuti	
5. CONCLUSIONI	<i>pag. 111</i>
6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA TEMATICA RAGIONATA	<i>pag. 117</i>



1

1. INTRODUZIONE: INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA E OBIETTIVI DELLA RICERCA

"Se si analizzano i dati statistici sul consumo energetico totale degli edifici durante la loro vita utile risulta che il 70% del totale è speso per la climatizzazione, cioè per mantenere al loro interno, il livello di comfort termico ottimale per le persone che li occupano, mentre il rimanente 30% è usato per l'illuminazione e i consumi di elettrodomestici. La maggior parte del consumo energetico degli edifici è quindi dovuto alla quantità di energia termica che è necessario introdurre nei periodi freddi (riscaldamento invernale) a compensazione delle perdite di calore attraverso il loro involucro, e alla quantità di energia termica che è necessario estrarre nei periodi caldi".

"Spesso, ancora oggi, nonostante l'impellenza dei problemi ambientali contemporanei, il compito imposto alla progettazione trascura il tema dell'efficienza energetica, relegando a questa il ruolo di mera verifica degli adempimenti normativi... Progettare è garantire uno sviluppo sostenibile, che pensa a tutto e a tutti..."¹

1.1 NUOVE ESIGENZE E NUOVI MATERIALI

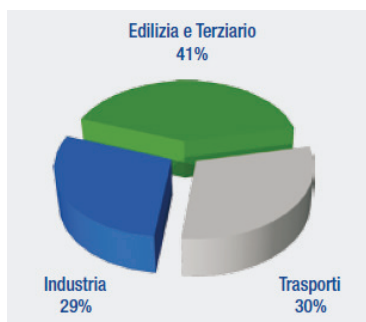


Foto 1.1
Consumi energetici dei settori principali - L'edilizia ne è il maggiore responsabile.

Oggi, uno dei temi attuali più impellenti, che deve essere affrontato per garantire uno sviluppo sostenibile, è quello dei cambiamenti climatici e delle emissioni nocive, poiché questi hanno provocato gravi problemi come l'effetto serra, il buco dell'ozono, l'acidificazione, la perdita di risorse, l'inquinamento del suolo, dell'aria e dell'acqua. Le persone che si occupano di sostenibilità, ma anche la gente comune, sono coscienti di tutto ciò. Gli inquinanti sono imputabili in parte rilevante al settore delle costruzioni e al terziario, che a livello europeo rappresentano circa il 41% dei consumi energetici e il 30% delle emissioni di CO₂. Questa crescente attenzione verso gli aspetti ambientali fin dagli anni Ottanta ha spinto la comunità scientifica e i politici a considerare con attenzione le problematiche legate all'emissione di sostanze inquinanti; in particolare, la necessità di ridurre l'immissione in atmosfera di CO₂ e di altri gas serra, ha indirizzato verso un aumento dell'efficienza energetica e un uso sempre maggiore di fonti di energia rinnovabile. Oltre al settore dei trasporti e a quello dell'industria, è l'attività edilizia l'altro principale responsabile dei problemi ambientali attuali. Il settore delle costruzioni, infatti, a causa dello sfruttamento di risorse materiali, dell'uso del territorio, del consumo energetico relativo a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto edilizio e della produzione di rifiuti da demolizione, costituisce, in particolare nei paesi industrializzati, uno dei principali fattori che determinano l'inquinamento ambientale: esso è responsabile di quasi il 50% del consumo di energia totale e del 40% della produzione di rifiuti non riciclabili.²

1.1.1 Le problematiche ambientali di oggi: responsabilità e potenzialità del settore dell'edilizia

Quando si parla di edifici è importante ricordare che nella quantità di energia spesa va inserita anche quella necessaria a coprire l'intero ciclo di vita di quel manufatto edilizio, dall'estrazione delle materie prime alla lavorazione di materiali e componenti, dalla costruzione vera e propria alla fase di esercizio, fino all'energia necessaria per dismettere, demolire ed eventualmente recuperare parte del costruito. Eppure, è proprio nel settore delle costruzioni, e in particolare nell'ambito della fase di esercizio, che emerge un'ulteriore importante considerazione, un'opportunità unica per risparmiare più del 50% dell'energia spesa negli edifici. In uno studio dell'associazione EnergoClub Onlus (Italia, 2015), che analizza le abitazioni dei propri soci, si è evidenziato che le dispersioni termiche dell'involucro architettonico rappresentano oltre il 75% - 80% dell'energia totale consumata e, quindi, se l'involucro fosse opportunamente progettato, dimensionato e gestito, diventerebbe il vero fulcro sul quale far leva per manovrare il termostato globale. Pertanto, costruire ed abitare case che consumano poco (o nulla come gli edifici passivi) è diventato quindi un obiettivo prioritario per la protezione dell'ambiente.

* Schizzo in copertina: Architetto Jean Yves Barrier, Il ruolo dell'involucro edilizio.

¹ Citazioni tratte da Riccardo Casaburi, Fabrizio Prato, Dario Vineis, Manuale Pratico per la Progettazione sostenibile, Legislazione Tecnica, Roma, 2016.

² Commissione Europea, del 18 novembre 2015, COM 572 "Una strategia quadro per un'Unione dell'energia resiliente, corredata da una politica lungimirante in materia di cambiamenti climatici".



L'Europa ritiene che il settore dell'edilizia potrà garantire un potenziale di risparmio stimato al 30%; un traguardo che sembra ambizioso, ma che in realtà è realisticamente ipotizzabile a fronte di iniziative politiche e regolamenti edilizi. Le potenzialità reali del settore arriverebbero infatti a sfiorare il 90% degli attuali consumi ed emissioni se, soprattutto nei Paesi più popolati del Sud dell'Europa, si adottassero prassi costruttive innovative, verso l'iperisolamento e l'utilizzo di energia rinnovabile.³

Grazie all'impiego dell'innovazione (necessaria nella fase ideativa, nella scelta delle materie prime e dei relativi trasporti, nel cantiere, nella scelta delle tecnologie costruttive e dei materiali) e grazie alla consapevolezza del ruolo dell'isolamento termico di un edificio, il settore delle costruzioni potrebbe trasformarsi da consumatore a produttore diffuso di energia pulita. Questi aspetti sono stati ben compresi dall'Unione Europea, tanto da aver dato luogo ad una serie di azioni, che sono tutt'ora in corso, riguardanti il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici nuovi ed esistenti. L'Europa, per diminuire le emissioni di anidride carbonica, ha ipotizzato un risparmio di energia del 27-30% nel settore delle costruzioni. Questo è chiaro nel Pacchetto europeo Clima-Energia 2020, adottato dai leader dell'UE nell'ottobre 2014: una serie di norme vincolanti, volte a garantire che l'UE raggiunga i suoi obiettivi in materia di clima ed energia entro il 2020. Tre sono i traguardi principali, da conseguire entro l'anno indicato: una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990), una quota almeno del 27% di energia rinnovabile ed un miglioramento almeno del 27% dell'efficienza energetica. Ciò sarà possibile se la politica energetica delle singole nazioni saprà tenere presenti, in principale modo, le possibilità offerte dai materiali isolanti.

La presa di coscienza dell'urgenza delle problematiche ambientali da parte di un numero sempre maggiore di progettisti costituisce il risultato di una lenta evoluzione progettuale, ma soprattutto culturale, iniziata alla fine degli anni '80, con i primi edifici solari, e messa a punto, nel corso degli anni successivi, con la realizzazione di progetti pilota sperimentali, fino allo sviluppo di strategie progettuali integrate, tecnologie innovative e sistemi di involucro altamente performanti. Tutto ciò, negli ultimi anni, ha permesso la realizzazione di edifici con elevata efficienza energetica. Il concetto di limitatezza delle risorse naturali, dal cui mantenimento dipende in maniera sostanziale l'equilibrio ambientale del nostro pianeta, e la necessità di ripensare il modello economico dei paesi industrializzati sono stati espressi per la prima volta a livello internazionale nel 1972 dal rapporto I limiti dello sviluppo, redatto dal MIT12 e dal Club di Roma. A seguito della crisi petrolifera del 1973 la necessità di salvaguardare le risorse naturali è divenuta una consapevolezza largamente condivisa e la valutazione che, nei paesi industrializzati, il 30% delle fonti energetiche non rinnovabili venisse utilizzato direttamente o indirettamente dal settore dell'edilizia, incentivò le ricerche sul contenimento energetico degli edifici.

A seguito del Rapporto Brundtland "Our common future" del 1987, la questione ambientale, inizialmente legata solo al problema dell'esaurimento delle risorse naturali, venne ampliata includendo anche la capacità da parte dell'ambiente di sostenere lo sviluppo della società e di smaltire l'inquinamento e i rifiuti prodotti dall'uomo in quantità sempre maggiore. Il Rapporto Brundtland introdusse il concetto di sviluppo sostenibile inteso come uno "sviluppo che soddisfa i bisogni del presente, senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri"⁴, sviluppo che fa riferimento alla carrying capacity, ossia alla capacità di carico da parte dell'ambiente rispetto al flusso di risorse estratte e dismesse dall'attività antropica e alla responsabilità da parte delle generazioni attuali nei confronti di quelle future. Il principio di responsabilità, inteso come un "atteggiamento etico del progetto di architettura che si esplica nello studio consapevole delle conseguenze che le trasformazioni operate in virtù di esso possono comportare"⁵, costituisce il fondamento su cui si basa la Charta Europea per l'Energia solare in architettura e pianificazione urbana, un documento di autoregolazione firmato nel 1996 da undici dei più famosi progettisti europei. La Charta afferma che "il ruolo dell'architettura è quello di dare espressione al rispetto per l'ambiente"⁵. Una II sezione contiene linee guida per progetti di architettura, a scala dell'edificio e a scala urbana: qui si afferma che è necessario "salvaguardare le riserve naturali ed impiegare il più possibile forme rinnovabili di energia e tecniche eco-compatibili".⁵

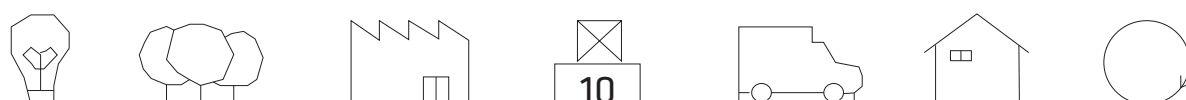


Foto 1.2
Rapporto Brundtland - Un documento redatto nel 1987 dalla Commissione sull'ambiente e lo sviluppo: per la prima volta è stato introdotto il concetto di sviluppo sostenibile. Il rapporto è diventato protagonista del libro *Our common future*, della Oxford University Press, 1987.

³ Studio condotto da alcune Ditte produttrici di sistemi di isolamento termico, tra le quali l'azienda Stiferite.

⁴ Rapporto Brundtland "Our common future", Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (Presidente: la norvegese Gro Harlem Brundtland), 1987.

⁵ Charta Europea per l'Energia solare in architettura e pianificazione urbana, 1996.



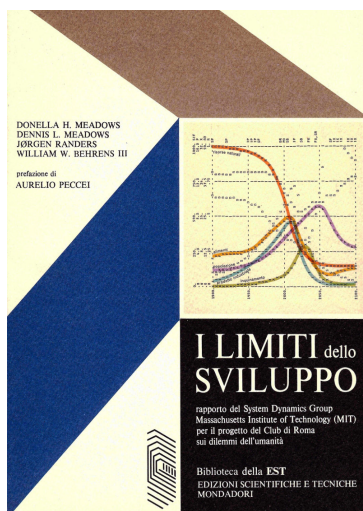


Foto 1.3
Rapporto sui limiti dello sviluppo, dal libro *I limiti dello sviluppo* (*The Limits to Growth*) - Commissionato al MIT dal Club di Roma e pubblicato nel 1972 da Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers e William W. Behrens III.

Nella sezione conclusiva vengono introdotti due concetti innovativi quali il regime d'uso ed il bilancio energetico degli edifici. Per la prima volta all'edificio viene affidata la funzione di sistema di autocontrollo, capace di operare uno sfruttamento ottimale di forme di energia sostenibili, per soddisfare le differenti esigenze dell'utente. Nel 2002, un ulteriore report del MIT12 *Limits to growth. The 30-years update*, ha ribadito la totale distruzione da parte dell'uomo dell'equilibrio tra input (risorse, che sono limitate) e output (rifiuti e scarti). Infine, nel 2016, è stato pubblicato il seguito de *I limiti dello sviluppo*, per sottolineare ancora una volta che la natura non è più in grado di sostenere i ritmi umani attuali relativi al prelievo di risorse. Dalla crisi petrolifera del 1970 in poi, infatti, l'ambiente ha mostrato di non riuscire più a rigenerarsi alla stessa velocità con cui l'uomo sta dilapidando e rovinando inesorabilmente tutto quello che esso ci offre.

1.1.2 L'isolamento termico come possibile risposta alle sfide della progettazione di oggi: isolante tradizionale o di nuova generazione?

A seguito di questo riconoscimento diffuso dell'urgenza delle problematiche ambientali e dunque delle responsabilità correlate al settore dell'edilizia, il concetto di efficienza energetica è diventato un presupposto per compiere delle buone scelte progettuali. Si è dunque fatta strada l'esigenza di una progettazione rinnovata, in grado di combinare l'ottimizzazione delle risorse locali, climatiche e materiche, e la qualità ambientale interna, a modalità tecnico-costruttive innovative. Negli ultimi 15 anni, vi è stata una crescita del mercato degli isolanti⁶, a fronte della consapevolezza del ruolo fondamentale che essi svolgono negli edifici al fine di ridurre i consumi energetici ed agire in termini di sostenibilità ambientale. Si tratta di anni di ricerca intensa, in cui da un lato sono stati sperimentati sistemi di isolamento innovativi, ma dall'altro lato sono stati migliorati gli isolanti tradizionali stessi, che hanno subito così importanti progressi in questo ultimo ventennio. I sistemi isolanti ultra performanti, applicati soprattutto all'involucro edilizio, potrebbero essere un'interessante soluzione in questa direzione, il primo passo per contenere i consumi e, quindi, per costruire in modo energeticamente efficiente.

L'edilizia degli anni Settanta - Novanta, invece, si è mostrata in molti casi priva di un isolamento termico adeguato e priva di strategie per il risparmio energetico: ciò significa che la questione ambientale non era sentita come un'esigenza, anzi la prospettiva perseguita era la quantità, a scapito della qualità edilizia. Per quanto riguarda i materiali isolanti tradizionali, essi si caratterizzano in base a svariati aspetti tecnici, riguardanti in primo luogo la protezione dal freddo e dal caldo, ma anche la stabilità in condizioni persistenti di umidità o altri agenti atmosferici, la resistenza alla diffusione del vapore acqueo, l'impronta ecologica del prodotto, il prezzo. Non esiste in senso assoluto l'isolante migliore: è necessario valutare caso per caso, selezionando il materiale più adatto alle proprie esigenze. Tra questi vi sono isolanti di origine minerale tra cui: la fibra di legno, il sughero espanso tostato, la lana di vetro, la lana di roccia, la lana di pecora e la lana di legno mineralizzata. Gli isolanti di origine sintetica sono: il polistirene espanso sinterizzato (EPS), il polistirene espanso sinterizzato con Grafite, il polistirene espanso estruso e il poliuretano espanso rigido o in schiuma.

Tra gli isolanti di ultima generazione, invece, vi sono: i pannelli sottovuoto (Vacuum Insulated Panels - VIP), i materiali a cambiamento di fase (Phase Change Materials - PCM), gli isolanti termoriflettenti stratificati, i pannelli isolanti trasparenti (Transparent Insulation Materials - TIM), le fibre di poliestere e l'aerogel. Nell'ultimo decennio, molti sono stati gli edifici contemporanei che hanno mostrato i reali vantaggi dell'uso di materiali isolanti ultra tecnologici, che si sono sviluppati a fianco dei progressi nell'isolamento tradizionale. Gli isolanti altamente performanti, stanno man mano diventando una possibile risposta alle sfide della progettazione contemporanea, poiché consentono di:
- ridurre al minimo lo spessore della muratura che viene isolata, garantendo, a parità di prestazioni (inerzia e trasmittanza termica), spessori limitati rispetto agli spessori necessari con sistemi di isolamento tradizionali;

⁶ Rapporto Anit, 2013 - Associazione Nazionale per l'isolamento termoacustico.



- creare involucri meno ingombranti e più performanti: la sola massa muraria, infatti, non è più in grado di soddisfare i livelli prestazionali richiesti dalle normative vigenti;
- garantire una buona resistenza al fuoco, coniugata all'isolamento termico;
- garantire un isolamento che in poco spazio (e poco materiale) elimini i ponti termici;
- recuperare molto spazio nei progetti che prevedono una ristrutturazione.

Ad oggi, la richiesta sempre maggiore di una buona efficienza negli edifici sta conducendo all'impiego di tecniche sempre più sofisticate ed innovative. Una delle possibili risposte a queste esigenze, quindi uno dei campi in cui è utile procedere con le sperimentazioni sostenibili e la ricerca, è l'ambito dell'isolamento. I Vacuum Insulated Panels, i Phase Change Materials e i Materiali Termoriflettenti sono isolanti di ultima generazione, sperimentati soprattutto nell'ultimo decennio, in grado di raggiungere buone prestazioni, evitando consumi energetici privi di controllo. La nostra tesi, dunque, si pone come obiettivo quello di valutare le potenzialità e le criticità dei sistemi di isolamento innovativi, e in modo particolare di tre di essi: i Pannelli sottovuoto (Vacuum Insulated Panels - VIP), i Materiali a cambiamento di fase (Phase Change Materials - PCM) e i Materiali isolanti termoriflettenti stratificati. Attraverso alcuni casi studio (considerando sia gli edifici di nuova costruzione che gli interventi di riqualificazione), e attraverso un confronto in termini applicativi, economici ed ambientali e attraverso una nostra sperimentazione (un progetto realizzato nel contesto di un concorso a Madrid), questa analisi vuole dimostrare se si tratta di scelte valide (senza voler mettere da parte i sistemi di isolamento tradizionale, anzi). I VIP, i PCM e i Termoriflettenti, proprio nell'ambito dell'esigenza attuale di scelte progettuali più innovative e più responsabili, sono stati presentati da molti progettisti e produttori come una soluzione sostenibile, da preferire rispetto ad alcuni isolanti tradizionali. Già negli ultimi quindici anni, infatti, hanno mostrato i loro vari campi di applicazione e i reali vantaggi: il nostro obiettivo è quello di dimostrare se queste idee, e quindi la scelta di un isolante di ultima generazione, siano completamente valide.

Inoltre, tra le soluzioni isolanti di ultima generazione abbiamo scelto questi tre innanzitutto perché, basandoci sui casi studio analizzati, si sono mostrati gli isolanti innovativi maggiormente sperimentati ed utilizzati negli ultimi 15 anni, quindi non solo una soluzione teorica, ma reale. Sono tre soluzioni di isolamento non troppo differenti, che presentano un'ampia gamma di prodotti e di campi di applicazione. Inoltre, sono quelli le cui informazioni, sia pratiche che economiche che ambientali, sono state reperibili, e questo è un fatto da non sottovalutare, trattandosi di materiali innovativi (ci sono state delle difficoltà per i PCM, i quali ad oggi non presentano molte informazioni ambientali pubbliche, riscontrabili nei libri o nei siti internet).

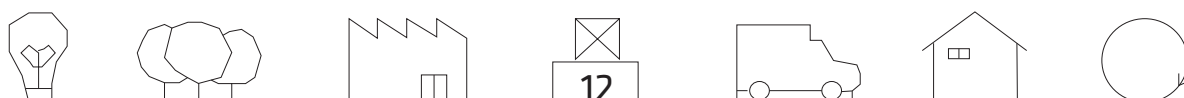
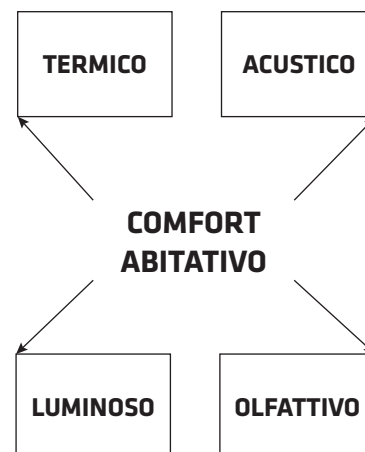
1.1.3 Verso gli isolanti di ultima generazione: Vacuum Insulated Panels, Phase Change Materials, Isolanti Termoriflettenti Stratificati

Un edificio con elevata efficienza energetica è un organismo edilizio in grado di garantire al suo interno una condizione di benessere termoigrometrico, acustico, luminoso, olfattivo, mediante soluzioni ambientali, tipologiche e tecnico-costruttive appropriate, che limitano al minimo l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili. Tenendo presente che l'involucro edilizio è l'insieme di materiali, sistemi e componenti in grado di trasformare, potenziare e ridurre i segnali termici, acustici e luminosi provenienti dall'esterno, l'attenzione si è focalizzata su alcune soluzioni di isolamento termico ultra performanti, applicate in modo particolare all'involucro stesso. L'obiettivo che ci siamo poste attraverso questa ricerca, infatti, è di dimostrare se, per migliorare le prestazioni di un edificio in termini di isolamento termico, sia valido scegliere un materiale ultra performante. È certo che negli ultimi decenni i progressi nell'ambito degli isolanti tradizionali siano stati numerosi e significativi, grazie alla ricerca, alle conoscenze e alle possibilità contemporanee, ma è altrettanto certo che non tutti gli isolanti tradizionali siano in grado di garantire la compresenza di alcune potenzialità che, invece, sono spesso contemporaneamente raggiungibili con un isolante di ultima generazione. Di seguito vengono riportate alcune importanti caratteristiche dei VIP, dei PCM e dei Materiali Termoriflettenti (la spiegazione dettagliata di ciascuno e il confronto tra questi è presente nei capitoli seguenti, ossia nei capitoli 2 - 3 - 4):

Poliuretano con rivestimenti impermeabili ($\lambda_p = 0,023 \text{ W/mK}$)	115 mm	
Poliuretano con rivestimenti permeabili STIFERITE ($\lambda_p = 0,026 \text{ W/mK}$)	130 mm	
Poliuretano con rivestimenti permeabili ($\lambda_p = 0,028 \text{ W/mK}$)	140 mm	
Polistirene espanso ($\lambda_p = 0,035 \text{ W/mK}$)	175 mm	
Polistirene estruso ($\lambda_p = 0,036 \text{ W/mK}$)	180 mm	
Lana di vetro ($\lambda_p = 0,037 \text{ W/mK}$)	185 mm	
Neoprene espanso ($\lambda_p = 0,038 \text{ W/mK}$)	190 mm	
Lana di roccia ($\lambda_p = 0,038 \text{ W/mK}$)	190 mm	
Sughero espanso ($\lambda_p = 0,045 \text{ W/mK}$)	225 mm	
Lana di legno ($\lambda_p = 0,049 \text{ W/mK}$)	245 mm	
Fibra di legno ($\lambda_p = 0,050 \text{ W/mK}$)	250 mm	
Fibre di legno mineralizzate ($\lambda_p = 0,090 \text{ W/mK}$)	450 mm	
Mattoni forati porizzati ($\lambda_p = 0,25 \text{ W/mK}$)	1250 mm	

Foto 1.4

Per ciascun isolante della tabella, viene riportato lo spessore necessario, al fine di ottenere sempre una trasmittanza di $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Il confronto mostra la varietà che sussiste già solo considerando i sistemi di isolamento tradizionali.



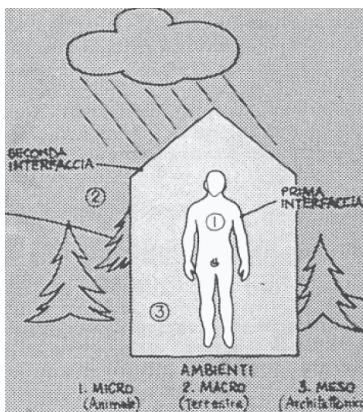


Foto 1.5

L'involucro edilizio (organismo) è una II interfaccia dell'uomo. Schizzi tratti da James Fitch, in *American building*, 1966.

- elevata efficienza energetica: gli isolanti altamente performanti possono garantire un risparmio energetico superiore rispetto ai sistemi di coibentazione tradizionali; nello specifico, tramite un confronto a parità di prestazione, abbiamo ottenuto un risultato importante, ossia che 3 cm di isolante termoriflettente e 3.6 cm di Pannelli sottovuoto (VIP) corrispondono ciascuno a 19 cm di lana di roccia;
- buona flessibilità tecnologica: strategia che mira alle sostenibilità economica, ambientale e sociale, per quei materiali modificabili in alcune parti/componenti;
- buona reperibilità: si intende la facilità con cui vengono reperiti questi sistemi di isolamento innovativi, con attenzione dunque alle distanze che devono essere percorse per portare tutto l'occorrente sia negli stabilimenti di produzione sia in cantiere;
- leggerezza: essa non viene intesa in senso gravitazionale, ma in termini di praticità, facilità di impiego e di uso di un determinato materiale isolante;
- spessore ridotto: con spessori di isolamento limitati anche lo spessore complessivo sarà inferiore (caratteristica non possibile per le murature tradizionali).

Una delle sfide della progettazione di oggi è proprio questa, cercare di garantire tutte queste caratteristiche all'interno di un edificio, nel pieno rispetto dell'ambiente.

Prima di esporre l'analisi che mostra le caratteristiche applicative, economiche ed ambientali relative ai VIP, PCM e ai Termoriflettenti, ricordiamo che spesso i progettisti di oggi preferiscono scegliere ancora un materiale isolante tradizionale. Essere aperti all'innovazione, non significa dimenticare o non utilizzare il panorama dei materiali tradizionali: al contrario, caso per caso, bisognerebbe effettuare un'attenta analisi di tutti gli aspetti del progetto e, solo poi, stabilire quale sia la scelta da prendere in termini di isolamento termico, ma anche per quanto riguarda tutti gli altri materiali. Valutare per poi scegliere significa essere coscienti del fatto che, ad esempio, se si deve selezionare un isolante tradizionale altamente performante, potrebbe non avere anche uno spessore limitato, ma uno considerevole. Nel capitolo seguente (cap.2) queste tre soluzioni innovative vengono descritte dettagliatamente, e poi approfondite attraverso la loro applicazione in alcuni progetti di nuova costruzione e in alcuni edifici sottoposti a riqualifica (Casi studio - cap. 3.2).

1.2 EFFICIENZA ENERGETICA E INNOVAZIONE

La crisi economica di questi ultimi anni e le maggiori consapevolezza circa le esigenze ambientali e le responsabilità della progettazione contemporanea, hanno indotto molte aziende (sia considerando l'edificio come tutt'uno che considerando i suoi singoli elementi), ad interrogarsi sull'importanza e la necessità di innovare e competere all'interno del proprio settore. Tutto ciò mostra una crescente propensione verso l'innovazione, che risulta, oggi più che mai, una strategia fondamentale per migliorare l'efficienza energetica e per limitare i problemi ambientali di oggi.

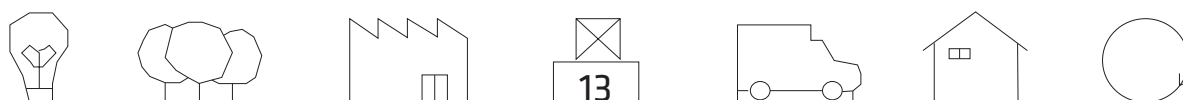
1.2.1 Le esigenze degli utenti di oggi in relazione all'organismo edilizio

*"Il comfort ambientale è definito come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda. In generale, una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è in una condizione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante".*⁷

La definizione delle esigenze dell'utente, il cui livello di soddisfacimento misura la qualità del progetto edilizio, costituisce da decenni uno dei principali ambiti di indagine della ricerca scientifica nell'area disciplinare della tecnologia dell'architettura. Le esigenze rappresentano i bisogni dell'utenza finale e la loro individuazione scaturisce dall'analisi dei bisogni da soddisfare, confrontati con i fattori di tipo ambientale, culturale ed economico. Le esigenze vengono tradotte in requisiti ambientali, ovvero in prestazioni richieste agli ambienti. Il comfort ambientale costituisce una delle sette classi di esigenze in relazione all'organismo edilizio ed è definito *"la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda"*.⁸ Un utente si trova in una condizione di benessere quando è in una situazione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante. Il comfort ambientale non è oggettivo, ma rispecchia i valori dell'esperienza individuale in virtù dei quali un utente

⁷ Norma UNI 10379:2005 "Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato", relativa al benessere e al comfort ambientale.

⁸ Norma UNI 8289:1981, denominata "Edilizia. Esigenze dell'utenza finale".



percepisce l'ambiente che lo circonda. Accanto a condizioni ambientali fisiche e misurabili (temperatura interna, intensità luminosa, livello del rumore), la sensazione di benessere è influenzata anche da aspetti fisiologici dell'individuo (età, sesso, costituzione fisica) e da fattori di condizionamento (indumenti, grado di attività, cibo, bevande consumate). La percezione dello spazio esterno da parte di un individuo è quindi ottenuta mediante l'elaborazione di impulsi termici, visivi, acustici, olfattivi e psicologici esterni, filtrati mediante una sensibilità individuale derivante dalle condizioni psicofisiche soggettive, dalla sensazione di sicurezza e dalle proprie esperienze.

Pensando agli edifici, e in modo particolare all'involucro, quello che oggi viene richiesto è soprattutto la garanzia del benessere termoigrometrico, ossia di una condizione in cui la temperatura, l'umidità e il movimento dell'aria sono tali per cui l'individuo prova un senso di soddisfazione e non desidera condizioni di maggiore o minore calore né umidità. È dunque necessario che il bilancio termico sia nullo e, cioè, che la somma del calore metabolico e di quello che il corpo può ricevere dall'ambiente siano uguali alla quantità di calore che può essere ceduto all'ambiente stesso. Il bilancio termico del corpo umano, infatti, è influenzato dagli scambi di calore per convezione, conduzione ed irraggiamento, dall'energia termica prodotta per l'effetto del metabolismo corporeo e dal calore disperso per effetto della respirazione, della traspirazione della pelle e dell'evaporazione dell'umidità e del sudore. Il livello di comfort termo-igrometrico dipende in larga misura da parametri fisici quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la velocità dell'aria. Sebbene tali parametri siano interdipendenti e la sensazione di benessere sia sempre influenzata dalla percezione soggettiva, è tuttavia possibile definire alcuni valori di riferimento che indicano una condizione di comfort.

Negli ultimi anni, grazie alla domotica e alle tecnologie di controllo climatico sempre più all'avanguardia, si è fatta strada l'idea che un edificio intelligente debba essere altamente automatizzato e che il controllo delle condizioni ambientali interne debba essere completamente delegato ad un sistema informatico, limitando al minimo le possibilità di intervento dell'utente. Tali scelte, però, hanno portato alla realizzazione di ambienti privi di un vero e proprio rapporto con l'esterno. Un edificio intelligente è quello che deriva da un'attenzione verso la forma, funzione, modalità di costruzione, sistema di involucro, soluzioni impiantistiche, e che ha come scopo il raggiungimento del benessere dell'utente e la riduzione dei costi ambientali. L'utente deve poter gestire la situazione di comfort interno, senza dover avere conoscenze specialistiche. L'automatizzazione della gestione energetica di un edificio, se da un lato può portare ad un risparmio di risorse attraverso un metodo di gestione efficiente, allo stesso tempo potrebbe aumentare il fabbisogno energetico senza che l'utente se ne accorga. Affinché un edificio risulti efficiente da un punto di vista energetico è quindi necessario che il rapporto edificio-ambiente sia tale da limitare al massimo gli sprechi di risorse e che il processo progettuale sia basato, non solo su un'accurata valutazione dei requisiti funzionali e di benessere, ma anche su un'attenta analisi in cui l'edificio va ad inserirsi, al fine di soddisfare le esigenze dell'utente con il minor dispendio di energia possibile. Le esigenze richieste dagli utenti in relazione all'organismo edilizio, dunque, diventano un traguardo, da raggiungere nel migliore dei modi, per tutte le figure professionali coinvolte nell'ambito dell'edilizia: gli operai, il direttore dei lavori, gli ingegneri, gli architetti, i produttori e le diverse ditte coinvolte.

Oggi, di fronte a questa sfida nella progettazione, l'attenzione si sta spostando nel campo dell'isolamento termico edilizio. Questo tema, infatti, ha assunto molta importanza, soprattutto negli ultimi quindici anni.

Grazie all'evoluzione tecnologica, i sistemi di isolamento stanno diventando una delle valide soluzioni alle problematiche ambientali attuali, come le emissioni inquinanti e gli elevati consumi di energia⁹. Si tratta di una possibile strategia, il primo passo per contenere i consumi e, quindi, per costruire in modo energeticamente efficiente.

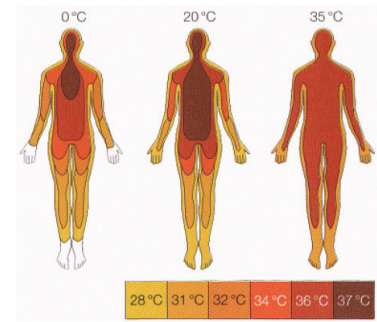
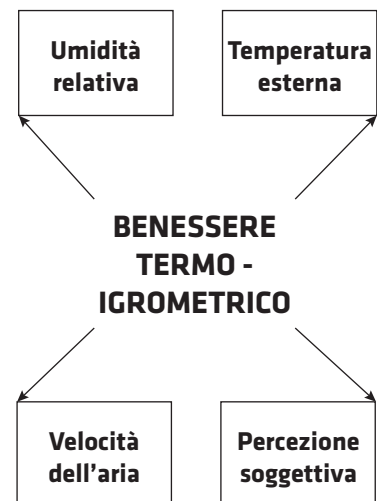


Foto 1.6
Benessere termoigrometrico - Distribuzione della temperatura nel corpo in relazione alle temperature dell'esterno.



⁹ Rapporto Anit, 2013 - Associazione Nazionale per l'isolamento termoacustico.



Foto 1.7
Isolante termico tradizionale, di origine minerale - Rotolo in lana di roccia.



Foto 1.8
Isolante termico tradizionale, di origine minerale - Rotolo in lana di vetro.



Foto 1.9
Isolante tradizionale, di origine sintetica - Polistirene espanso sinterizzato (EPS).

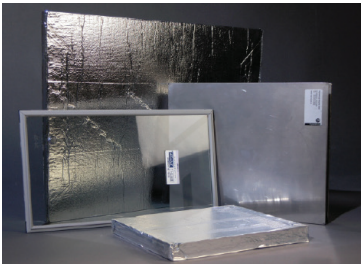


Foto 1.10
Isolante termico di ultima generazione, di origine sintetica - Differenti tipologie di sistemi isolanti sotto vuoto, opachi e trasparenti. Fonte: Dr. Jan Cremers.

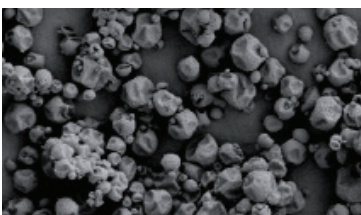


Foto 1.11
Isolante termico di ultima generazione, di origine sintetica - Immagine al microscopio di Microcapsule di PCM. Fonte: ISE.



Foto 1.12
Isolante termico di ultima generazione, di origine sintetica - Materiale termoriflettente stratificato, della ditta Actis.

1.2.2 Il ruolo dell'isolamento termico: da "elemento nascosto" a "elemento dichiarato" negli edifici

Oggi il settore degli isolanti sta vivendo un nuovo sviluppo, con la riscoperta di materiali e di metodi di coibentazione naturali e con l'adattamento dell'edilizia verso prodotti utilizzati in altri ambiti industriali. Lo scenario attuale degli isolanti è il punto di arrivo di un percorso che comincia circa 80 anni fa, tra il 1920 e il 1940, con l'inizio della produzione e industrializzazione della lana di vetro, dei cellulari polimerizzati e delle resine fenoliche. L'onda d'urto della seconda guerra mondiale ha, sul settore delle costruzioni, almeno due effetti sconvolgenti: è il periodo della ricostruzione, che porta la necessità di realizzare in fretta milioni di metri cubi di case, ed è il periodo in cui l'industria bellica investe nella ricerca, mostrando uno sforzo economico che nei decenni successivi si riversa anche nel settore delle costruzioni, immettendo sul mercato un ampio ventaglio di prodotti innovativi e tecnologicamente avanzati. La crescita economica degli anni 1950 e 1960 e la crescente richiesta di abitazioni sempre più confortevoli hanno fatto sviluppare il mercato degli isolanti, che attingono dai settori della refrigerazione e dei trasporti. Una spinta che la crisi energetica di inizio anni '70, aiutata dai primi movimenti ambientalisti e dalla crescita dell'inflazione, continuerà a supportare, incentivando ad esempio l'uso dei materiali espansi e successivamente degli estrusi e delle resine sotto forma di schiume.

Ancora oggi il settore degli isolanti si sta confrontando con la presa di coscienza, risalente agli anni '75-'90, dei gravi problemi ambientali creati dal buco dell'ozono, dalla maggiore concentrazione di gas serra nell'atmosfera e dalla richiesta di un maggiore benessere. È tale l'attenzione che si assiste ad una nuova concezione degli isolanti termici: da sempre invisibili, nascosti nelle intercapedini dei muri, nel sottotetto o dietro facciate ventilate, essi sono ormai arrivati a confrontarsi anche con uno dei grandi temi contemporanei, l'immagine, e vengono così dichiarati in facciata come parte integrante dei componenti dell'involucro. Già nell'antichità si era compreso che per proteggersi dal freddo era possibile utilizzare pelli a pelo folto che intrappolavano l'aria. L'aria statica è, infatti, un eccellente isolante termico e ha una conduttività termica di 0,026 W/mK. Neanche i più recenti isolanti raggiungono questi valori: la conduttività della fibra di vetro è superiore a 0,033 W/mK, la lana di roccia parte da 0,041 W/mK e il silicato di calcio da 0,057 W/mK; solo alcuni materiali alveolari hanno valori confrontabili con quelli dell'aria statica che, per essere tale, deve essere racchiusa in celle più piccole di 0,09 micrometri. Solo con l'uso di gas ad alto peso molecolare è possibile ridurre ulteriormente la conduttività termica dei materiali cellulari ermetici. Se l'uso degli agenti espandenti è agevole nella refrigerazione e nei trasporti, in cui le pareti isolate sono realizzate con sandwich ermetici, è inefficace in edilizia in cui le pareti, pur se isolate, devono permettere l'espulsione dei gas che si sviluppano nell'abitazione.

L'avvento dei materiali di sintesi e lo sviluppo dell'industria chimica nel XX secolo ha impartito un duro colpo ai materiali naturali, relegati per molti decenni al ruolo di "materiali del passato", contrapposti alla "modernità" di plastiche, calcestruzzo, acciaio. Utilizzati per secoli, i materiali naturali possono, oggi, avvalersi anche di processi di produzione e lavorazione industriale che permettono di migliorare le proprietà di sicurezza al fuoco, asetticità e sterilità, resistenza alle muffe e ai microrganismi. Sul mercato sono disponibili isolanti realizzati con lana di pecora, con piume d'oca e di altri volatili, con fibra di lino e di cocco, con juta e canapa, fino ad arrivare agli isolanti fibrosi derivati da mais, bamboo e altri vegetali, biodegradabili al 100%.

A fianco dei materiali naturali si trovano soluzioni che, per l'edilizia, rappresentano l'apice della sperimentazione, e che arrivano da altri settori industriali. Il mondo degli isolanti è tra quelli che attinge maggiormente a tecnologie nate per rispondere a requisiti più severi di quelli di un manufatto architettonico, adattandole: materiali quali i Vacuum Insulation Panels (VIP), i Phase Change Materials (PCM), gli Isolanti Termoriflettenti ne sono un valido esempio. Questi isolanti ultraperformanti sono materiali innovativi in grado di contribuire all'aumento dell'ecosostenibilità di un edificio e ottenere migliori prestazioni in termini di comfort interno. Nella fase attuale, ci sono almeno tre fattori favorevoli allo sviluppo del settore degli isolanti: - vi è una richiesta di livelli di comfort e di benessere sempre più elevati;

- vi è l'urgenza dei problemi legati al consumo energetico e all'inquinamento;
- vi sono livelli tecnologici sufficientemente alti da poter parlare di innovazione anche nel settore delle costruzioni. In questo contesto, l'innovazione tecnologica è fondamentale, ma non è sufficiente per parlare di benefici: il rischio di una deriva consumistica è possibile. Nel caso degli isolanti bisognerebbe chiedersi se l'energia che viene risparmiata nell'usare quel prodotto più innovativo o più performante, non sia già stata sprecata durante il suo processo di produzione. Alcune risposte emergono dall'applicazione dell'LCA, ma, senza un'adeguata consapevolezza e senza un processo progettuale ben impostato, vi è solamente il rischio di creare maggiori problemi.

1.2.3 Il problema dell'edilizia degli anni Settanta - Novanta: l'assenza di strategie per il risparmio energetico

L'involucro ha un ruolo determinante nel rapporto tra l'edificio e l'ambiente. Nella progettazione dell'involucro di un edificio contemporaneo, anche a fronte delle esigenze prestazionali sempre più elevate, è chiaro che sia necessario riconoscere la sua importanza: esso è un componente con molte responsabilità, che deve essere concepito in base ai dati climatici e fisici di quel sito, ai volumi esistenti e alle necessità degli utenti, e che deve garantire il comfort interno e il risparmio energetico. I paesi europei leader nello sviluppo di tecnologie per l'edilizia ad alta efficienza energetica sono la Germania, l'Austria e la Svizzera. Il clima particolarmente rigido nei mesi invernali, che accomuna questi paesi e rende la riduzione delle dispersioni termiche un requisito imprescindibile nella progettazione degli edifici, combinato ad agevolazioni fiscali per coloro che utilizzano fonti rinnovabili di energia, ha fatto sì che questi stati dell'Europa centrale oggi risultino all'avanguardia nello sviluppo e nella sperimentazione di prodotti ad alta efficienza energetica per l'involucro edilizio. Un'altra caratteristica che accomuna questi paesi è una tradizione costruttiva che, a differenza di quella mediterranea, non è legata ad un'architettura massiva in pietra, dall'elevata inerzia termica, ma ad un sistema strutturale puntiforme assemblato a secco, spesso in legno, in cui il comfort ambientale interno è affidato alle prestazioni termiche di tamponamenti leggeri. Di conseguenza, le ricerche su materiali e sui prodotti per l'edilizia - svolte dai principali produttori di isolanti termici e da università come il Politecnico a Copenaghen, Stoccolma e Vienna - hanno indirizzato il loro campo di azione allo sviluppo di sistemi di involucro in grado di combinare spessore e peso ridotti ad elevate prestazioni termo-igrometriche, acustiche e visive.

Un contributo fondamentale allo sviluppo di sistemi di involucro innovativi è stato dato dal trasferimento al settore dell'edilizia di materiali e prodotti altamente specializzati, provenienti da altri campi di applicazione come l'industria chimica e frigorifera, l'aeronautica e l'ingegneria aerospaziale. Dalle ricerche e dai concorsi promossi, sono nate delle fruttuose collaborazioni tra industrie e centri di ricerca, tra specialisti nella chimica dei materiali e progettisti. Essi hanno portato allo sviluppo di sistemi di involucro edilizio innovativi dotati di un'alta efficienza energetica, di un'elevata qualità architettonica ma anche di un'ottima cura del dettaglio tecnologico. Tra i numerosi prodotti e sistemi innovativi per l'involucro edilizio innovativo ve ne sono alcuni, dotati di prestazioni termo-igrometriche elevate, che si ipotizza possano risultare energeticamente efficienti anche nel Sud Europa, in quanto rispondenti ai parametri prestazionali necessari al raggiungimento del comfort ambientale.

Oggi, le prestazioni innovative richieste ad un involucro sono soddisfatte dagli edifici definiti "ad alta efficienza energetica", ossia da un organismo edilizio in grado di garantire il comfort interno limitando l'uso di fonti energetiche non rinnovabili. Il raggiungimento del benessere termo-igrometrico, acustico, luminoso e della qualità dell'aria interna, però, non è delegato esclusivamente all'impiantistica, ma è ottenuto con soluzioni ambientali e tecnico-costruttive appropriate. Possiamo definire eco-efficiente un organismo edilizio che persegue un risparmio dei consumi energetici (di estrazione, produzione, trasporto), una riduzione dei gas inquinanti e degli scarti ed un'attenta valutazione delle materie prime: dunque, non è sufficiente che esso risponda ai requisiti energetici definiti dalla normativa.

Inoltre, a fronte della consapevolezza dell'esigenza di una progettazione rinnovata,



Foto 1.13
Efficienza edilizia - Il comfort raggiunto all'interno di un edificio deve consentire la presenza di consumi energetici limitati e attentamente controllati.



¹⁰ Anit - Associazione Nazionale per l'isolamento termico ed acustico.

¹¹ Battisti Alessandra, Tucci Fabrizio, Ambiente e Cultura dell'Abitare, Edizioni Librerie Dedalo, Roma, 2000.

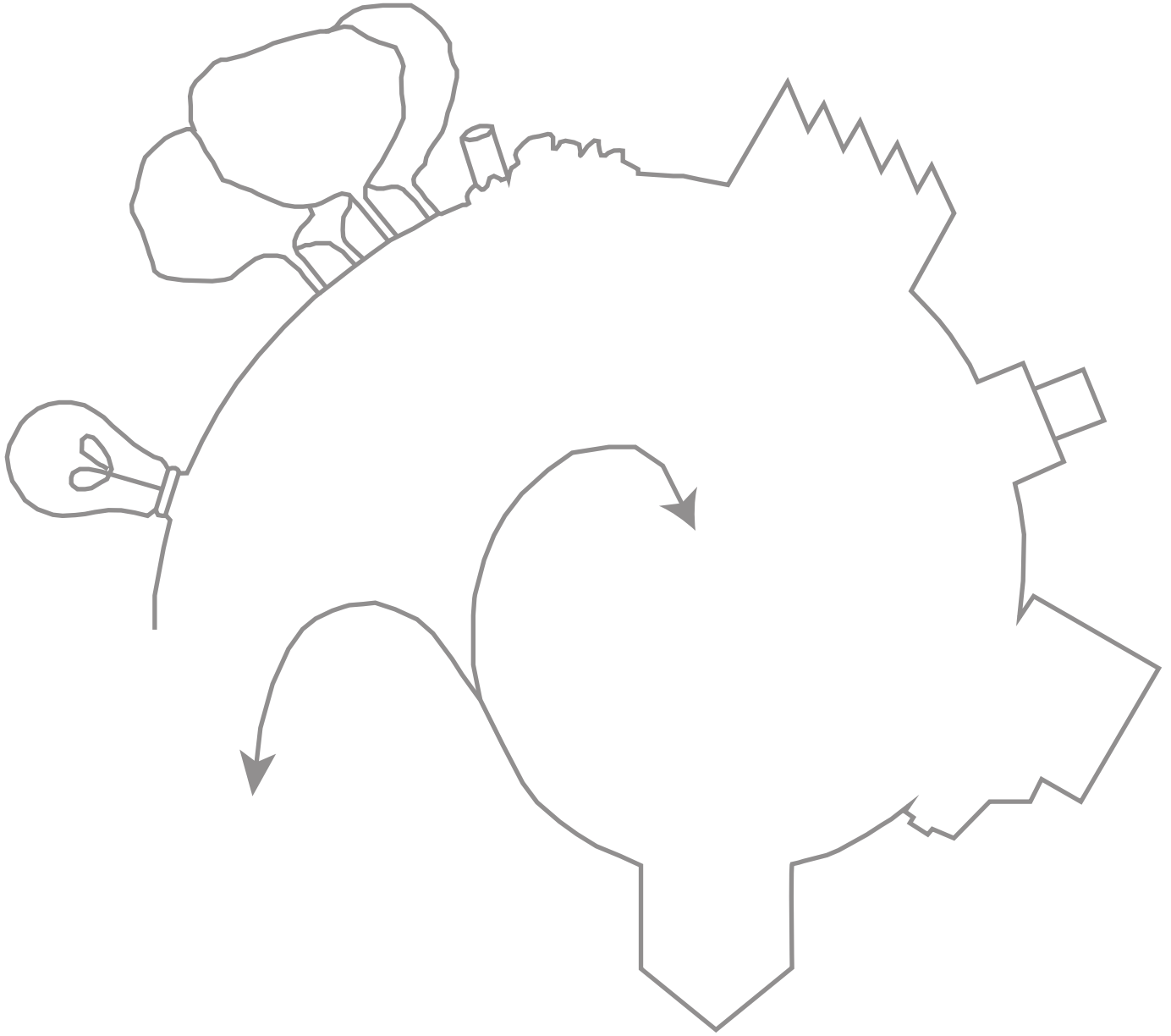
non può essere dimenticato il problema rappresentato dall'edilizia diffusa realizzata negli ultimi quarant'anni, soprattutto in Italia. Si tratta di edifici privi di un isolamento termico adeguato o di altre strategie per il risparmio energetico. Le basi dello scarso interesse alle conseguenze che le scelte progettuali hanno sull'ambiente e della convinzione che la combustione non provochi alcun danno alla qualità dell'aria, sono da ricercarsi nell'architettura dell'inizio del XX secolo, quando sono stati realizzati edifici privi di rapporto con il luogo e con i fattori climatici esterni.

Se nei primi anni del XX secolo le conseguenze ambientali di questo modo di costruire non erano forse ancora prevedibili, dagli anni '70, a seguito della crisi petrolifera, la limitatezza delle risorse è diventata una consapevolezza comune, ma in alcuni Paesi europei, in particolare in quelli del Sud Europa, le problematiche ambientali hanno costituito per anni un interesse molto marginale. Nonostante l'Italia abbia aderito dal 1997 al protocollo di Kyoto, la vera svolta nel sentire collettivo è avvenuta con la direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, in cui è stata sottolineata la necessità da parte degli Stati membri di definire normative, sistemi di gestione, di controllo e di valutazione del processo progettuale, in relazione al consumo energetico degli edifici.

L'interesse collettivo ha costituito il motore propulsore per l'incentivazione della ricerca e lo sviluppo di materiali, sistemi e componenti ad elevata efficienza energetica. Negli ultimi anni, infatti, sono stati immessi sul mercato edilizio europeo numerosi prodotti innovativi con elevate prestazioni energetiche e con la rispondenza ai valori limite di trasmittanza termica, definiti dalle recenti norme nazionali ¹⁰.

Nonostante il crescente interesse per il contenimento energetico degli edifici, si riscontra ancor oggi la mancanza di una strategia unitaria in grado di gestire la complessità delle problematiche ambientali. Sebbene fino a quarant'anni fa, in buona parte dell'Italia e di altri paesi del Sud d'Europa, si costruisse abitualmente senza isolare, oggi esiste una fitta rete di aziende, istituzioni ed enti di ricerca, che fanno dei materiali isolanti la propria "mission". L'isolamento termico è una delle eccellenze ad esempio del Made in Italy, come dimostra un'attiva associazione nazionale, l'ANIT ¹¹, finalizzata a coordinare sforzi e risorse che da più parti – pubblica amministrazione, industria, mondo delle costruzioni e della ricerca – vengono dedicati a questo settore.





2. INNOVAZIONE NEI SISTEMI DI ISOLAMENTO ULTRAPERFORMANTI

Di seguito vengono presentati tre dei sistemi di isolamento di ultima generazione: i Vacuum Insulated Panels, i Phase Change Materials e gli Isolanti Termoriflettenti Stratificati. Il panorama attuale è composto da vari sistemi di isolamento ultraperformanti, poiché vi sono anche i pannelli isolanti trasparenti (Transparent Insulation Materials - TIM), le fibre di poliestere, l'aerogel. Ricordiamo che la scelta è ricaduta proprio su questi poiché, tramite un'analisi iniziale di edifici nei quali sono stati usati gli isolanti innovativi, i tre si sono mostrati quelli maggiormente sperimentati ed utilizzati negli ultimi 15 anni, quindi non solo una soluzione teorica, ma reale. Tutto ciò è stato successivamente confermato svolgendo l'analisi di alcuni casi studio da noi selezionati (soprattutto nel campo europeo, capitolo 3.2). La scelta è ricaduta su di essi anche perché sono tre soluzioni di isolamento che presentano ciascuno un'ampia gamma di prodotti e diversi campi di applicazione.

2.1 PANNELLI ISOLANTI SOTTOVUOTO - VACUUM INSULATED PANELS (VIP)



Foto 2.1
VIP - Esempio di pannello isolante sottovuoto - Vacuum Insulated Panel.

2.1.1 Caratteristiche principali e processo produttivo

A seguito dell'emanazione dei recenti decreti attuativi nazionali, che hanno stabilito dei valori limite di trasmittanza termica degli involucri edilizi in relazione alla zona climatica di appartenenza, si è riscontrato, soprattutto negli ultimi 20 anni, un incremento della ricerca e della produzione nel settore degli isolanti. Un notevole aumento del livello prestazionale degli isolanti termici è stato ottenuto grazie all'applicazione in edilizia di un prodotto proveniente dall'industria frigorifera: il Vacuum Insulated Panel (VIP), ossia il pannello isolante sottovuoto. Per quanto riguarda la loro composizione, si tratta di un prodotto sottovuoto, a matrice vegetale, che presenta un nucleo a base di acido silicico microporoso, uno strato di poliestere ed infine un involucro di alluminio; in questo modo viene privato dell'aria al suo interno fino ad ottenere una pressione bassissima, riducendo al minimo la mobilità delle poche molecole d'aria contenute nei pori. Questo procedimento sopprime la conduttività termica dell'aria e il trasferimento di calore, ottenendo un materiale termico altamente isolante. I pori del nucleo, alla fine della lavorazione, devono essere inferiori ai 100 nanometri.¹

Per le applicazioni edilizie i pannelli sono stati ulteriormente perfezionati ed adattati alla particolare esigenza dell'ambito di utilizzo; la soluzione più adatta è risultata quella di impiegare come nucleo il biossido di silicio pirogeno, ottenuto pressando e riscaldando idrogeno e tetracloruro di silicio. La reazione chimica che ne deriva permette di ottenere una miscela omogenea. Tale miscela consente di abbattere molto la conducibilità termica del pannello rispetto a quella dei normali materiali usati come isolanti in edilizia. Per garantire al modulo una certa resistenza agli urti è stato necessario racchiudere il nucleo in un involucro in acciaio che permette la tenuta sottovuoto del pacchetto e consente di poterlo maneggiare ed installare a parete permettendo che la stessa non venga intaccata. I pannelli ottenuti per le applicazioni edili hanno livelli di conducibilità termica ridotti, tra 0,002 e 0,008 W/mk. ¹

L'innovazione in grado di fornire ai VIP delle prestazioni di resistenza termica elevate consiste nell'utilizzo della tecnologia del sottovuoto. L'aspirazione dell'aria, infatti, determina una diminuzione della conducibilità termica di 1/10 rispetto a quella che lo stesso materiale avrebbe in condizioni normali.

Se gli isolanti tradizionali affidano la riduzione della trasmittanza termica alla scarsa conducibilità del materiale (0,040÷0,020 W/mK) e a quella dell'aria ferma (0,021÷0,026 W/mK), che si trova tra una molecola e l'altra all'interno di materiali molto porosi, la creazione del sottovuoto, invece, determina una riduzione delle molecole d'aria e l'impossibilità di urtarsi da parte di quelle che compongono il materiale isolante, limitando i fenomeni di trasmissione di energia termica.

L'idea di aspirare l'aria, al fine di creare uno spazio vuoto in cui i fenomeni di trasferimento del calore venissero quasi del tutto annullati, ha tratto

¹ Materiali isolanti, nuove tendenze in architettura - Le informazioni sono state consultate nel sito <http://www.iuav.it>



le sue origini da un recipiente in vetro argentato a doppia parete ad intercapedine vuota, con funzione di isolante termico, per contenere liquidi molto freddi, inventato nel 1890 dal chimico e fisico inglese James Dewar. In seguito, nel 1904, l'azienda tedesca Thermos ha prodotto e commercializzato i primi recipienti cilindrici sotto vuoto, costituiti da un'intelaiatura in acciaio inossidabile ed una boccetta interna in vetro, in grado di sostenere la pressione necessaria all'aspirazione dell'aria di 10t/mq.

La prima applicazione nell'industria frigorifera è comparsa nel 1971, quando la ditta tedesca Linde AG è riuscita a produrre pannelli sottovuoto bidimensionali non più dotati di un supporto in vetro e acciaio, bensì inseriti all'interno di "buste" composte da strati di plastica, rivestiti con una lamina metallica e con una pressione di 1 mbar.

L'applicazione dei pannelli isolanti sottovuoto nel settore dell'edilizia, invece, è comparsa per la prima volta alla fine degli anni '90. In virtù di questo trasferimento tecnologico sono stati intrapresi degli studi su materiali portanti a bassa conducibilità termica, in grado di essere sottoposti ad un'elevata pressione per costituire il nucleo del pannello, e su plastiche e metalli molto flessibili e resistenti, da usare per la realizzazione dell'involucro dal quale viene aspirata l'aria attraverso una valvola al fine di creare il sottovuoto. Le ricerche effettuate hanno mostrato che i materiali del nucleo devono essere caratterizzati da un'elevata porosità, come ad esempio vetroresina trattata termicamente e successivamente pressata, gomma piuma, polistirolo, poliuretano o polveri siliciche. Un altro fattore influente sulle prestazioni del pannello è la grandezza dei pori che compongono il materiale del nucleo: questa deve essere inferiore a 100 nanometri, in quanto la sua dimensione risulta essere proporzionale alla pressione in grado di eliminare la conducibilità termica gassosa. Invece, per quanto riguarda l'involucro del pannello sottovuoto sono stati ottenuti dei risultati soddisfacenti con più strati di plastica rivestiti con acciaio inossidabile o fogli di alluminio; la resistenza di questi materiali è estremamente importante, in quanto la loro lacerazione e la conseguente perdita del sottovuoto ridurrebbe le prestazioni dell'isolante fino a 2-3 volte. A tale scopo i VIP sono spesso provvisti di un rivestimento protettivo esterno realizzato con lana di vetro, schiuma o pannelli di poliuretano.

Nell'ultimo decennio, alcuni centri di ricerca tedeschi e svizzeri hanno sperimentato e testato la tecnologia dei VIP, con l'intento di verificare una loro possibile applicazione nel settore dell'edilizia. I maggiori risultati sono stati ottenuti dallo ZAE Bayern¹ di Würzburg con le ricerche coordinate dal prof. Ulrich Heinemann, e dall'IBP² nelle sue sedi di Holzkirchen e Stoccarda, con le sperimentazioni condotte dal gruppo di lavoro del prof. Klaus Sedlbauer. Tali ricerche hanno portato alla realizzazione di pannelli isolanti, con un nucleo composto da polvere pressata di biossido di silicio SiO₂ ed un involucro in plastica ed alluminio, sottoposti ad una pressione di 100 mbar e privati dell'aria mediante una valvola. I pannelli ottenuti hanno uno spessore di 1 o 2 cm e sono dotati di una conducibilità termica compresa tra 0,002 e 0,008 W/mK. ²

Ricerche portate avanti dalla Porexterm Dämmstoffe GmbH di Kempten Germania, hanno dimostrato che l'utilizzo di una miscela di polveri siliciche per la realizzazione del nucleo del pannello, in sostituzione del biossido di silicio, è in grado di aumentare ulteriormente le prestazioni termiche e la durabilità del pannello isolante sottovuoto. Le polveri siliciche sperimentate sono composte da un'alta percentuale di biossido di silicio pirogeno combinato a fibre di cellulosa e carburo di silicio, che funge da agente opacizzante. Il biossido di silicio pirogeno, che rappresenta l'elemento innovativo di questo procedimento, è ottenuto sottoponendo a calore e pressione idrogeno e tetracloruro di silicio. La conseguente reazione chimica fonde gli elementi di base creando una miscela omogenea. Tale composizione chimica del nucleo del pannello, combinata all'aspirazione dell'aria che crea la condizione di sottovuoto, determina una riduzione dei fenomeni di conduzione, convezione ed irraggiamento, che garantisce una conducibilità termica pari a soli 0,002 W/mK.

I principi di isolamento a vuoto sono stati conosciuti per circa 100 anni e sono stati utilizzati nel design per molti decenni. Ora, con i progressi nella scienza dei materiali e con una maggiore attenzione all'efficienza energetica degli edifici, i prodotti VIP vengono applicati anche in molte industrie e negli edifici, sia commerciali che residenziali che in quelli adibiti al terziario.



Foto 2.2
VIP - esempio di pannello isolante sottovuoto, prodotto della Ditta Variotec.

² Studi condotti da alcuni centri di ricerca tedeschi e svizzeri, tra i quali lo ZAE Bayern¹ di Würzburg (Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung) e l'IBP² (Institut für Bauphysik del Fraunhofer Institut) nelle sue sedi di Holzkirchen e Stoccarda.





Foto 2.3
VIP - Un vantaggio significativo è rappresentato dagli spessori ridotti, necessari per creare un prodotto sottovuoto. Ciò si combina ai possibili svariati utilizzi. Nella foto, un esempio di applicazione: l'isolamento di una parete perimetrale. Fonte: Ditta tedesca Porextherm.



Foto 2.4
VIP - Un operaio applica al pavimento dei pannelli sottovuoto. Ditta Kingspan.

2.1.2 Vantaggi e svantaggi

Di seguito riportiamo i principali punti di forza di questo isolamento innovativo (per i dati specifici riportati di seguito, si veda il confronto - tabella capitolo 3.4).

Vantaggi termici:⁴

1. i campi di applicazione sono molteplici: i Vip vengono utilizzati per isolare pavimentazioni, terrazze, pareti interne, facciate, pareti controterra, soffitti, coperture,
2. I pannelli VIP hanno una conduttività termica compresa tra lo 0.003 e lo 0.02 W/mK, pari a 1/10 rispetto ai pannelli tradizionali (in genere tra 0.035 e 0.045 W/mK), quindi presentano prestazioni termiche elevate.
3. All'aumentare dello spessore dei cm di isolamento, aumentano i costi e diminuisce la resistenza termica dell'involucro. I pannelli VIP invece, essendo sottovuoto, consentono di raggiungere prestazioni elevate in spessori limitati: si tratta di alcuni mm (7-30 mm) rispetto ai cm richiesti per un isolante tradizionale (in genere non meno di 7-15 cm), quindi il rapporto è di circa 1/10. La resistenza termica dei VIP, per spessore unitario, è molto favorevole: essi isolano 10 volte di più di un isolante tradizionale, quindi, in poco spazio e con poco materiale, si eliminano i ponti termici e si realizzano resistenze elevate, garantendo un risparmio energetico ed economico.³

Vantaggi costruttivi:⁴

1. Le loro componenti sono riciclabili in molti casi fino al 100%⁴ e sono incombustibili.
2. I giorni di stoccaggio entro il campo di temperatura richiesto sono pari a 7/10. Questa durata è due volte superiore a quella che può essere ottenuta usando un isolamento tradizionale, che consente al massimo tre-cinque giorni di stoccaggio.
3. Grazie allo spessore ridotto, i VIP sono indicati nelle riqualificazioni, quando è scarso lo spazio disponibile e vi è la necessità di un efficace isolamento termico.
4. La posa di questi pannelli avviene in modo molto pratico e veloce, per incollaggio (con specifiche colle che dipendono da produttore a produttore) o per fissaggio meccanico ad un supporto ligneo o di acciaio, tramite delle viti (di 1 cm circa).

Di seguito riportiamo alcuni punti di debolezza, ma anche alcune possibili strategie di intervento proposte dai maggiori produttori di questo sistema di isolamento (si veda la tabella con le principali ditte attualmente attive nel mercato, cap. 3.3).

Svantaggi applicativi - possibili soluzioni mirate:⁴

1. Si tratta di pannelli fragili e delicati, di solito protetti da un altro materiale di isolamento classico (PU, PSE, ecc.), che aumenta lo spessore totale. Inoltre, la loro densità, pari a 150-250 Kg/mc, li rende più pesanti di altri materiali isolanti. --> Inserimento dei VIP all'interno di pannelli sandwich - Per limitare la possibilità di lacerazione dell'involucro esterno dei VIP durante il trasporto o la messa in opera, alcune imprese produttrici, oltre a verificare con particolari sensori l'ermeticità di ogni singolo pannello, hanno messo in produzione sistemi di involucro stratificato contenenti VIP annegati in uno strato di isolante, come la schiuma di poliuretano, che viene spruzzata allo stato liquido e che poi, raffreddandosi, solidifica.
2. La forma del pannello non è perfettamente quadrata e questo complica l'assemblaggio. Inoltre, l'installazione richiede maestranze molto qualificate, perché è necessario operare facendo sì che questi non si danneggino. Eventuali tagli dell'involucro determinano la perdita della condizione di sottovuoto e quindi la perdita di efficienza. Infine, non è facile rimuovere i pannelli che hanno perso le loro capacità termiche. --> Realizzazione di moduli sandwich in officina - Questi vengono installati direttamente in cantiere. In fase di progettazione, gli elaborati esecutivi devono fornire dettagliatamente l'esatta dimensione e quantità di pannellatura (moduli). --> Inserimento dei VIP in sistemi di facciata assemblati a secco e facilmente removibili - Al fine di ovviare al problema della rimozione di un pannello mal funzionante alcune ditte hanno progettato dei sistemi di facciata assemblati a secco con involucri reversibili, cui è garantita l'ispezionabilità e la possibilità di sostituire gli strati interni.

Svantaggi economici - possibili soluzioni mirate:

1. Nonostante gli sforzi per ridurre i costi dei pannelli VIP, trattandosi di un prodotto innovativo e non così facile da produrre, rimane ancora oggi costoso.⁵ --> La spesa viene ammortizzata dall'aumento della superficie calpestabile - Alcune

³ Losasso Mario, Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico, Cleam edizioni, Napoli, 2005.

⁴ Dati reperiti dall'EPD di un tipico VIP, il pannello Vacupor, prodotto dalla Ditta tedesca Porextherm. L'Autorizzazione è stata rilasciata il 30-03-15 dall'Istituto tedesco per l'ingegneria civile). Il confronto in termini ambientali, sulla base delle rispettive EPD, è riportato al capitolo 3.4.

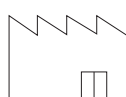
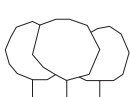
⁵ Si vedano le informazioni relative all'ambito economico - cap. 3.4, riguardo ai tre sistemi di isolamento ultraperformante analizzati: VIP, PCM e Termoriflettenti.





Foto 2.5, 2.6

Due esempi di applicazione dei pannelli VIP: nella foto sovrastante, l'isolamento di una pavimentazione, nella foto sotto una copertura isolata dall'interno.



22





Foto 2.7
VIP - Pannelli prefabbricati per un solaio.

aziende tedesche, produttrici di VIP, hanno svolto un'analisi costi-benefici con cui hanno dimostrato che per ottenere un edificio passivo (fabbisogno termico annuo per il riscaldamento < 15 kWh/mq) con una coibentazione tradizionale occorre un isolante termico spesso 300 mm, mentre con un pannello VIP sono sufficienti 40 mm. Questa riduzione di spessore nelle pareti comporta un aumento della superficie calpestabile, che in un appartamento di 100 mq può essere quantificato in circa 11 mq.

2.1.3 Campi di applicazione

I Vacuum Insulated Panels vengono incollati tramite nastro adesivo e colle specifiche, oppure vengono applicati per fissaggio meccanico tramite delle viti (di 1 cm circa), inserendo i pannelli modulari rettangolari in una maglia lignea o di acciaio.

Essi sono adatti per l'isolamento di pavimentazioni, pareti, coperture e solai, isolando sia dall'interno che dall'esterno, oppure nell'intercapedine delle pareti stesse. Sono particolarmente indicati in edilizia per:

- L'isolamento di facciate continue
- Le pavimentazioni di terrazze
- Le coperture piane pedonabili
- L'isolamento esterno dietro la pannellatura

Inoltre, sempre nell'ambito delle possibili applicazioni, i VIP forniscono vantaggi spaziali per gli elettrodomestici e per i sistemi di trasporto refrigerati.

Di seguito, una tabella con i principali campi di applicazione di questi pannelli:

	isolamento dall'interno	dall'esterno	nell'intercapedine
parete perimetrale	×	×	×
parete interna	×	×	×
parete controterra	×	×	×
copertura	×	×	
solaio sottotetto	×	×	
solaio su vespaio	×	×	
solaio verso cantina	×	×	
isolamento acustico	×	×	×

Parlando degli ambiti in cui è possibile applicare i VIP, una delle sperimentazioni è stata da poco eseguita dall'Unione Europa, attraverso il progetto europeo VIP4ALL. Un team di ricercatori ha messo a punto dei nuovi pannelli sottovuoto, a partire dal pannello VIP convenzionale, mostrando le loro possibilità e gli ambiti di utilizzo. Il VIP4ALL è composto da minerali e sottoprodotti biologici rinnovabili. L'obiettivo è stato quello di impiegarli nei progetti di ristrutturazione e riqualificazione a budget ridotto, proponendo un'alternativa valida alle imprese che conducono i lavori. I nuovi pannelli, con una buona efficienza termica e soprattutto ecologici, hanno buone proprietà di isolamento termico e raggiungono un valore lambda di 7 mW/mK, nonostante abbiano uno spessore ridotto di circa un terzo in confronto ai tradizionali pannelli con camera d'aria. In totale l'ingombro varia dai 3 ai 4 cm. Merito anche di una sottile parete di incapsulamento esterna, tutta in sughero. Il nuovo strato dà anche altri vantaggi: ad esempio rende più semplice spostare e stoccare i pannelli perché garantisce più protezione dalle eventuali forature, che farebbero crollare le sue prestazioni termiche. Anche la resistenza al fuoco si attesta su valori alti, fattore centrale perché le imprese ottengano l'approvazione delle domande di costruzione.

Per sviluppare la parte interna dei pannelli, il lavoro di progettazione per i diversi materiali e per le tecnologie di lavorazione è stato affrontato con la modellazione

Foto 2.8
VIP - L'operaio installa i pannelli in una partizione verticale interna. Ditta Befire.



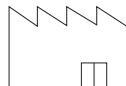
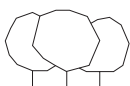


Foto 2.9, 2.10

A sinistra, vi è una serie di pannelli (Befire) pronti per essere installati; a destra, un esempio di applicazione dei pannelli VIP, con un tecnico che sta eseguendo dei controlli per verificare il sottovuoto del sistema di isolamento, applicato nell'intercapedine di una partizione verticale interna.

Foto 2.11

Un secondo esempio di applicazione dei pannelli VIP: nella foto sottostante, l'installazione su una parete perimetrale. Fonte: Ditta italiana Variotec.



24





Foto 2.12
Materiale isolante PCM - Paraffina solida.

predittiva. "Per prima cosa il team ha creato una banca dati completa relativa alle caratteristiche delle materie prime. Ciò ha portato all'identificazione di due promettenti sistemi per l'involucro e quattro composizioni ibride per la parte centrale. Le tecnologie di lavorazione della parte centrale sono state ottimizzate e molte formulazioni sono state preparate... il risultato sono dei pannelli progettati per raggiungere delle conduttività termiche minime a pressioni interstiziali normali, confrontabili ai VIP in commercio per le applicazioni nell'edilizia, pur fornendo un isolamento termico superiore rispetto ad altri materiali convenzionali presenti nel mercato del settore".⁶

Il fattore costo è stato centrale nello sviluppo del progetto. Con la crisi, il settore delle costruzioni ha faticato a scegliere i VIP, rispetto ai pannelli tradizionali, che sono molto più economici. Il team di ricercatori ha da subito sperato che "I prodotti finali possano fornire un contributo all'attuabilità e alla competitività della riqualificazione energetica nell'UE, una preoccupazione che riguarda l'economia e l'ambiente".⁶

2.2 MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE - PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)

2.2.1 Caratteristiche principali e processo produttivo



Foto 2.13
Isolante PCM - Microcapsule di Paraffina.

I materiali a cambiamento di fase sono isolanti che si presentano in forme diverse: si tratta di microcapsule di paraffina o di sali idrati, inserite in pannelli di cartongesso e gesso oppure in altri materiali come vetro, legno, plexiglass, cemento ed intonaco. Si tratta di isolanti che permettono di accumulare notevoli quantità di calore, mantenendo una temperatura costante. Questo loro comportamento può essere utile nel settore dell'edilizia: nella fase estiva, infatti, è possibile incrementare l'inerzia termica all'interno di un ambiente mediante l'accumulo durante il giorno di calore (da restituire all'ambiente esterno durante la notte), mentre in inverno, il calore accumulato può essere restituito negli ambienti interni. Si tratta di sostanze con un alto calore di fusione che, fondendosi e solidificando ad una certa temperatura, sono in grado di memorizzare e rilasciare grandi quantità di energia. Il calore viene assorbito o rilasciato quando il materiale cambia da solido a liquido e viceversa, quindi i PCM sono classificati come unità latenti di stoccaggio termico (LHS). L'accumulo latente di calore può essere raggiunto attraverso svariati cambi di fase, tuttavia solo i cambiamenti solidi--> liquidi, e viceversa, sono pratici.

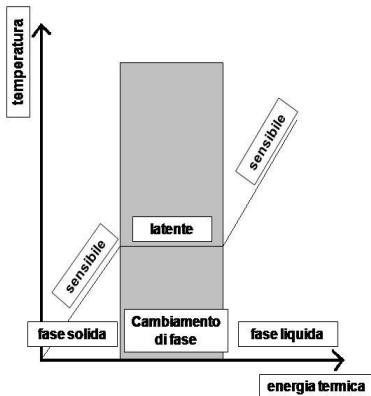


Foto 2.14
Passaggio di stato - Accumulando calore, un materiale PCM (solido) aumenta la sua temperatura e diventa liquido (e viceversa). Fonte: Ditta tedesca BASF.

Sebbene le transizioni di gas-liquido abbiano un maggiore calore di trasformazione rispetto alle transizioni solido-liquido, le variazioni di fase da liquido a gas sono impraticabili, perché sono necessari grandi volumi o pressioni elevate. Inizialmente, i PCM solidi-liquidi si comportano come materiali sensibili di stoccaggio termico (SHS) e la loro temperatura aumenta in quanto assorbono il calore. A differenza dei materiali tradizionali SHS, tuttavia, quando i PCM raggiungono la temperatura alla quale cambiano fase (temperatura di fusione) assorbono grandi quantità di calore, ad una temperatura quasi costante. Il PCM continua ad assorbire il calore, senza un aumento della temperatura, finché tutto il materiale diventa liquido. Infine, quando la temperatura dell'ambiente intorno ad un materiale PCM liquido cade, esso si solidifica, rilasciando il suo calore latente memorizzato.

Questi materiali innovativi conservano da 5 a 14 volte più calore per unità di volume rispetto ai materiali di memorizzazione tradizionali come acqua, muratura o roccia. Essi, inoltre, rappresentano una soluzione tecnologica molto innovativa nella progettazione di edifici, perché consentono di smussare le fluttuazioni giornaliere della temperatura attraverso la riduzione dei picchi di temperatura interna, e quindi dei consumi energetici necessari alla climatizzazione degli ambienti.⁷

Le caratteristiche fisiche principali dei PCM sono due, ossia un'elevata densità ed una modesta variazione di volume. Nella scelta di un materiale a cambiamento di fase, però, oltre alle proprietà fisiche, è necessario valutare anche quelle termiche:
-Calore latente di fusione, che deve essere alto per avere scambi di energia termica.
-La temperatura di fusione, preferibilmente intorno ai 25° centigradi.

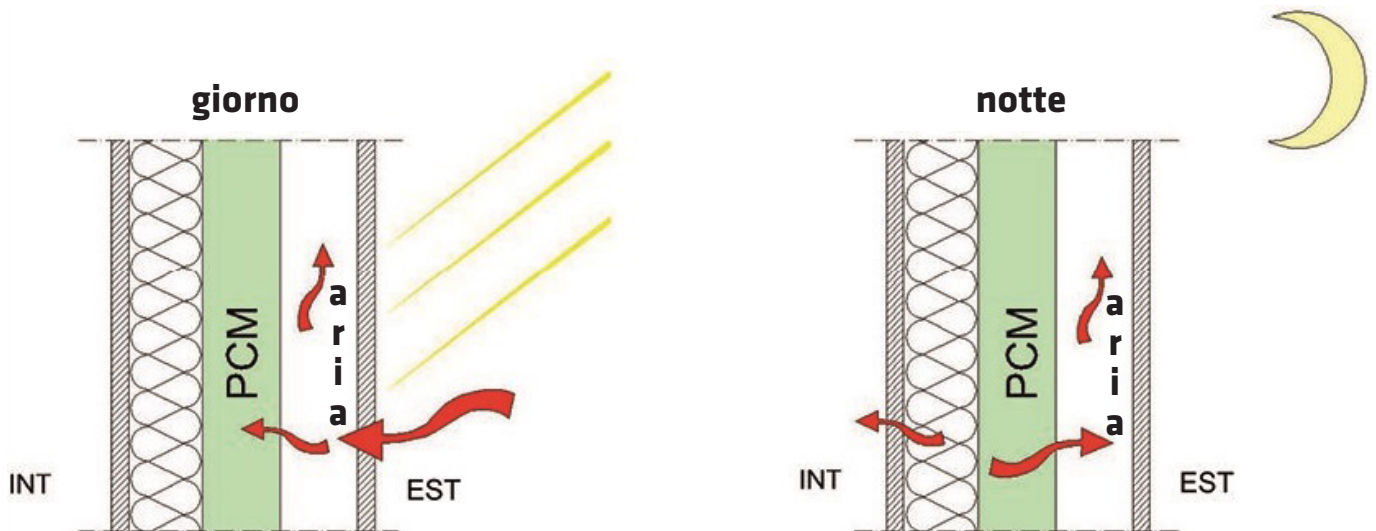
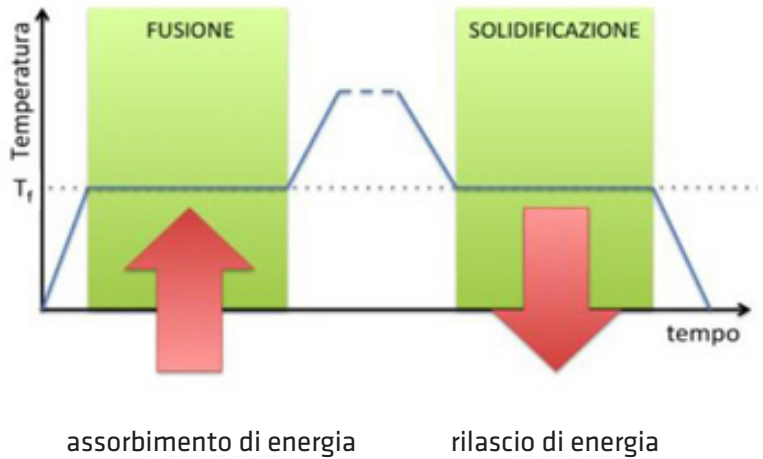
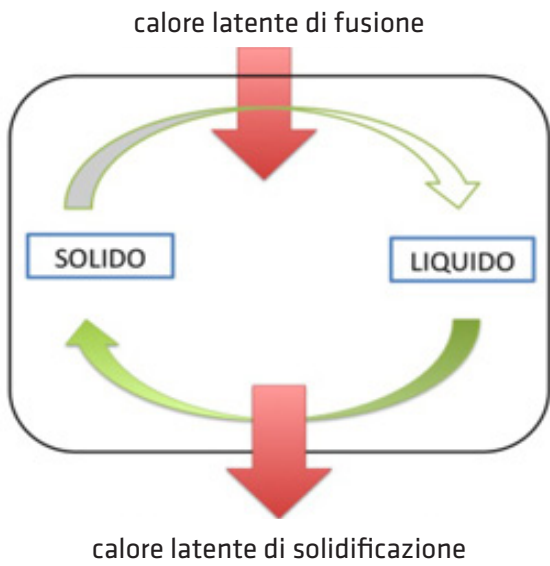
⁶ Parole dei ricercatori che hanno lavorato per il progetto europeo VIP4ALL.

⁷ Tucci Fabrizio, *Ecoefficienza dell'involucro architettonico*, Editrice Librerie Dedalo, Roma, 2000.





Foto 2.15
 Nella foto soprastante, microcapsule di PCM. Nelle foto sottostanti, il passaggio di stato e, dunque, la capacità di un PCM di accumulare calore e poi rilasciarlo. Infine, nella terza immagine, l'esempio pratico in una parete ventilata: l'accumulo diurno di calore e il rilascio notturno verso l'esterno e l'interno. (Fonte: BASF, Ditta tedesca produttrice di PCM).



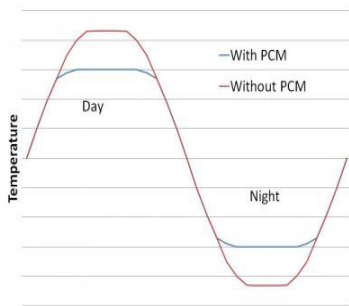


Foto 2.16
Confronto tra le temperature di un ambiente isolato con o senza PCM.

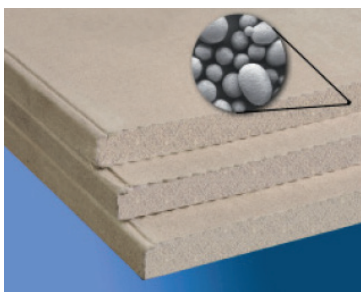


Foto 2.17
Pannello in cartongesso della Ditta BASF, con microcapsule PCM intergate in esso.

- Il calore di transizione di fase (liquefazione/solidificazione), che deve essere elevato;
- La presenza di un elevato calore specifico e di un'alta conducibilità termica;
- La presenza di stabilità chimica, per evitare la perdita delle prestazioni nel tempo.

Infine, nella scelta di un materiale, e in questo caso di un isolante, è sempre necessario valutare anche alcuni aspetti pratici, come la sua disponibilità in natura, la facilità di reperimento, la compatibilità con i materiali da costruzione e la non corrosività.

I materiali a cambiamento di fase che maggiormente rispondono a queste necessità e che, pertanto, sono attualmente i più utilizzati sono le paraffine e i sali idrati. Le paraffine sono composti organici prodotti attraverso la raffinazione del petrolio che, a temperatura ambiente, hanno una consistenza simile a quella della cera. Come tutti i composti organici sono in grado di compiere numerosi cicli di solidificazione e liquefazione, senza alterare il proprio calore latente di fusione. I sali idrati, invece, sono gli unici composti inorganici utilizzati con discreto successo come materiali a cambiamento di fase; si tratta di solidi cristallini in cui i passaggi di stato sono in realtà la disidratazione e l'idratazione del sale. Rispetto alla paraffina, sono meno costosi, ma presentano l'inconveniente della fusione incongruente: durante la cristallizzazione non viene rilasciata acqua a sufficienza per avere la completa dissoluzione della fase solida presente, e questo provoca il deposito sul fondo dei sali meno idrati, che hanno maggiore densità, ed una perdita progressiva della reversibilità del cambiamento di fase.

2.2.2 Vantaggi e svantaggi

Innanzitutto, come per i Vacuum Insulated Panels (VIP), riportiamo di seguito i principali punti di forza presentati dai PCM, i materiali a cambiamento di fase (per i dati specifici riportati di seguito, si veda il confronto - tabella capitolo 3.4).

Vantaggi termici:

1. Applicato ad una parete interna o esterna, incrementa il comfort microclimatico.
2. Isolando una superficie, vi è una riduzione delle oscillazioni di temperatura.
3. Consente una riduzione dei consumi per la climatizzazione. A parità di peso, e in un intervallo di temperatura prossimo a quello di fusione, infatti, i materiali a cambiamento di fase hanno una capacità di accumulo termico 80 - 100 volte superiore ai materiali tradizionali (conduttività termica = 0.2 - 1.1 W/mK).
4. Applicato ad una parete esterna, il PCM riduce i carichi termici estivi.
5. Applicato ad una parete esterna, vi è il contenimento dei flussi termici.
6. In termini ambientali, un PCM permette di conservare l'energia termica naturale per le necessità di riscaldamento/raffreddamento, di conservare l'energia termica e di utilizzarla durante la domanda di picco, per risparmiare sui costi energetici.⁸

Vantaggi costruttivi:

1. Sono materiali incombustibili, non corrosivi e, parzialmente riciclabili.
2. I PCM pconservare l'energia termica alla temperatura dell'applicazione di processo, il che rappresenta un vantaggio nello stoccaggio di energia.

Di seguito riportiamo alcuni punti di debolezza, ma anche alcune possibili strategie di intervento proposte dai maggiori produttori di questo sistema di isolamento (si veda la tabella con le principali ditte attualmente attive, capitolo 3.3).

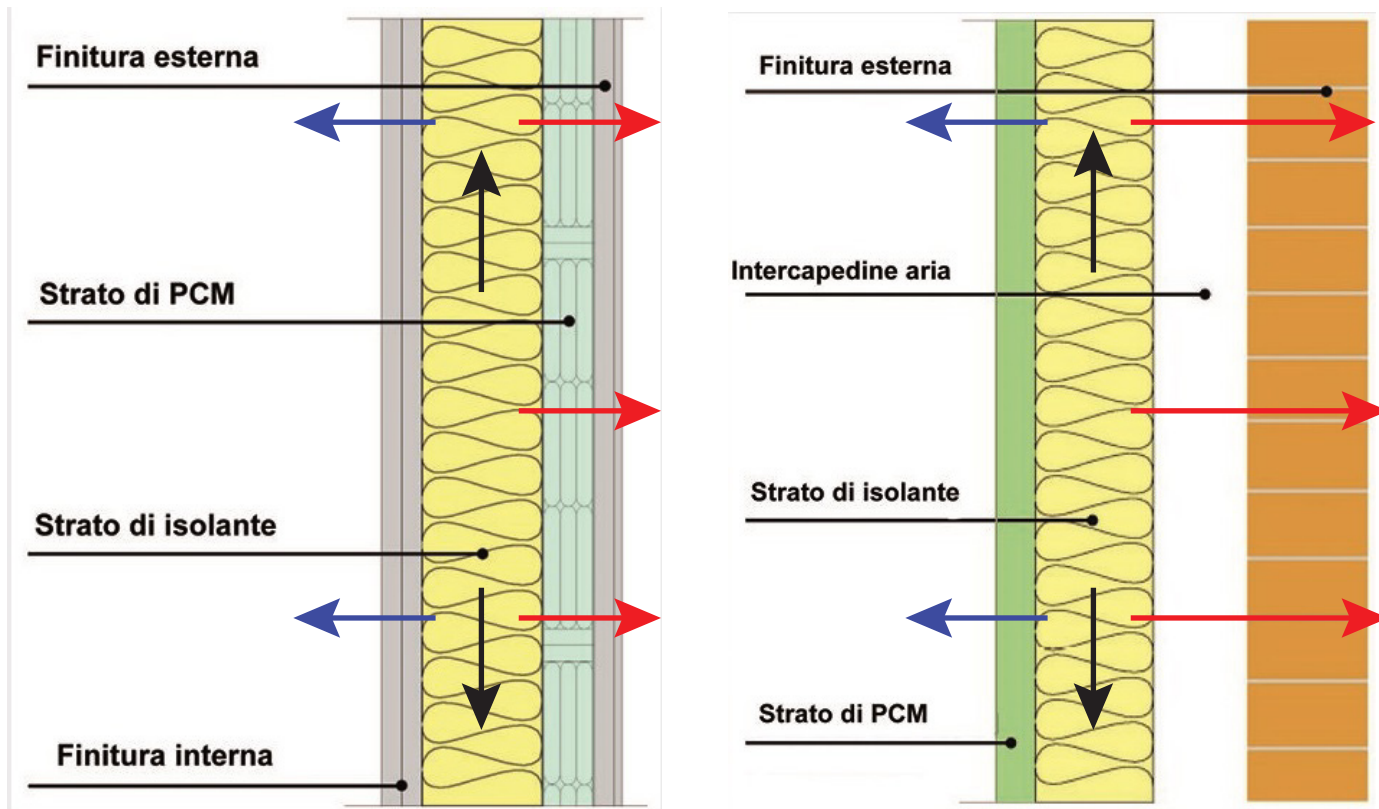
Svantaggi applicativi - possibili soluzioni mirate:

1. Possibile surriscaldamento nel periodo estivo: poiché i PCM sono in grado esclusivamente di accumulare e rilasciare energia termica, ma non di eliminarla o di assorbirla, nel caso in cui la temperatura notturna non scenda sotto quella di fusione il materiale a cambiamento di fase perde le sue proprietà di termoregolazione. --> "Scaricamento termico" mediante sistemi di raffrescamento - Nei periodi caldi è possibile "scaricare termicamente" i PCM con sistemi per il raffrescamento notturno (attivi o passivi). A questo proposito, l'ISE di Friburgo⁹ sta sperimentando la possibilità di integrare nell'intonaco contenente PCM dei tubi capillari per il raffrescamento.
2. Infiammabilità della paraffina: essa può essere utilizzata infatti solo in quantità ridotta (al massimo il 20%). I prodotti per l'edilizia contenenti PCM attualmente in

⁸ Gallo Paola, *Progettazione sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005.

⁹ Istituto ISE di Friburgo - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.





Nelle stratigrafie sovrastanti, due diversi esempi di applicazione degli isolanti PCM, in una parete non ventilata e in una ventilata:

a. Durante il giorno, in una giornata calda, come precedentemente esposto, i PCM accumulano calore (frecche nere) e passano allo stato liquido. Di notte, essi solidificano e rilasciano il calore accumulato (frecche rosse e blu). Se ci fosse la ventilazione nell'intercapedine, contribuirebbe ad evacuare parte del calore.
 b. Nel secondo caso, a destra, lo strato di PCM introdotto nell'intonaco interno, aumenta l'inerzia termica: accumula e rilascia calore (frecche nere, rosse e blu).

- Accumulo di calore da parte dei PCM nel sistema (parete)
- Rilascio di calore da parte dei PCM verso l'esterno
- Rilascio di calore da parte dei PCM verso l'interno

Foto 2.18, 2.19, 2.20, 2.21

Nelle immagini sottostanti, quattro esempi di PCM integrati nel vetro. Questi materiali, usati ad esempio nelle facciate trasparenti, sono i GlassX.

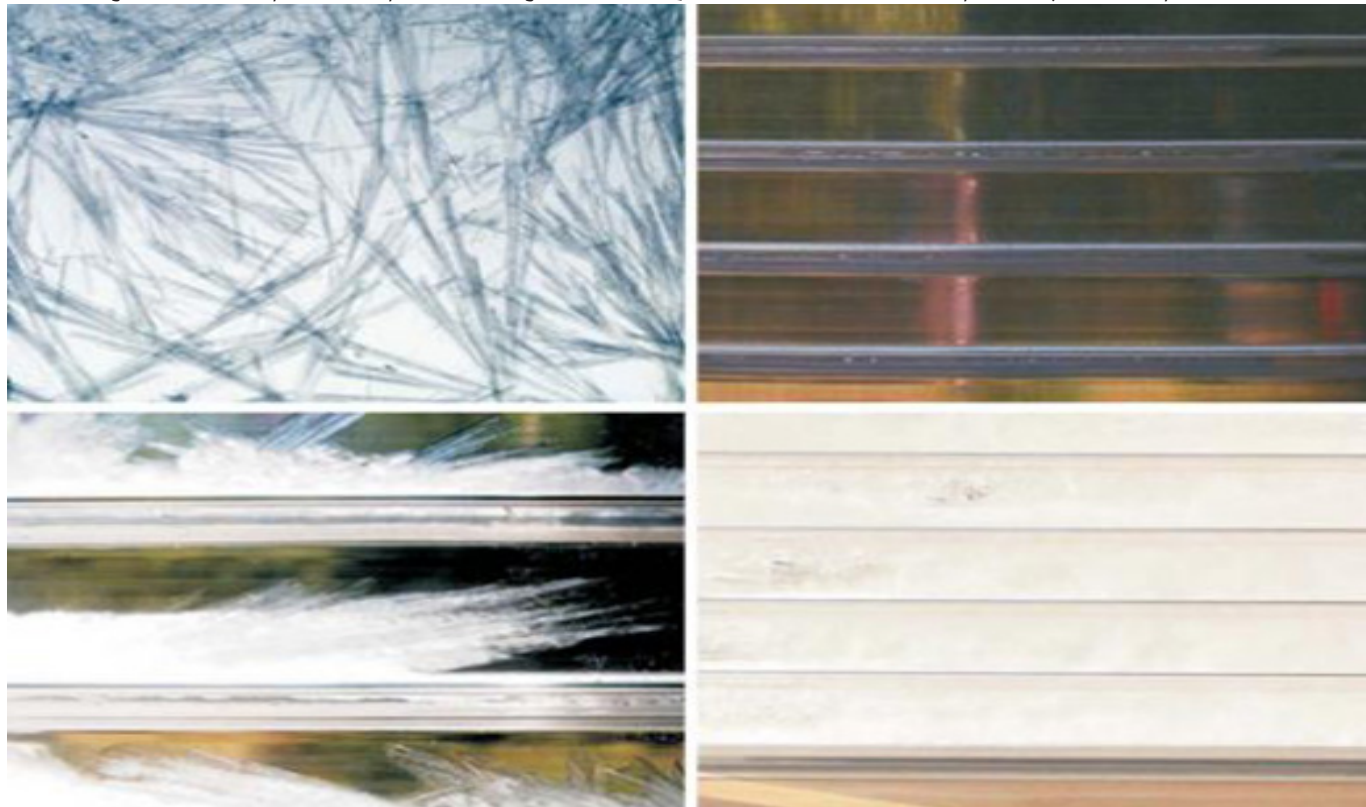




Foto 2.22
Phase Change Materials - Ditta GlassX.

commercio sono classificati nelle categorie B2 (normalmente infiammabile) o B1 (difficilmente infiammabile). Ciò ne impedisce l'utilizzo nelle strutture pubbliche.
-> Utilizzo dei sali idrati - Per limitare l'infiammabilità dei PCM la ditta tedesca Rubitherm ha sperimentato l'utilizzo di sali idrati, in sostituzione delle paraffine.
3. Trattandosi di un materiale innovativo non è stata ancora certificata la durabilità.
--> Test in corso - L'ISE di Friburgo¹⁰ sta svolgendo dei test sui PCM per testarne la stabilità e ad oggi si parla di un ciclo di vita di almeno 50 anni.

Svantaggi economici - possibili soluzioni mirate:

1. Nonostante gli sforzi per ridurre i costi, essendo un prodotto innovativo, i materiali PCM rimangono, come i Vacuum Insulated Panels, piuttosto costosi.¹¹
--> La spesa viene ammortizzata dall'aumento della superficie calpestabile - Alcune aziende tedesche e svizzere, produttrici di PCM, ma anche il Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), stanno svolgendo delle analisi costi-benefici per dimostrare che vi possono essere vantaggi economici nel loro uso. Considerando infatti che si tratta di isolanti molto più snelli dei sistemi di isolamento tradizionali, questo fattore comporta un guadagno in termini di superficie utile dell'edificio in questione.

Di seguito, riportiamo le tipologie di PCM e gli specifici vantaggi/svantaggi.

I Tipologia - PCM organici, ossia le Paraffine, i carboidrati e i lipidi derivati.

La cristallizzazione delle cere paraffine rilascia una grande quantità di calore latente. Esistono molteplici paraffine, ciascuna con diversa temperatura di fusione, tuttavia, a causa del costo elevato, essa viene generalmente utilizzata nelle versioni impure. La paraffina è atossica, chimicamente inerte, non corrosiva, stabile sotto i 500°C e presenta una variazione di volume modesta durante il cambiamento di fase; per queste ragioni, essa è particolarmente indicata nei sistemi che devono sottostare a molti cicli di fusione/solidificazione. L'aspetto negativo, invece, è l'infiammabilità. Tra le paraffine, molto usata dai ricercatori risulta essere il modello P-116, con temperatura di fusione di 47°C e calore latente di fusione di 210 KJ/kg.

Vantaggi dei PCM organici:

- Compatibilità con il materiale di costruzione
- Stabilità chimica
- Elevato calore di fusione
- Possono essere prodotti da fonti rinnovabili

Svantaggi dei PCM organici:

- Infiammabilità
- Molti produttori utilizzano costose miscele di paraffina raffinate di petrolio.

II Tipologia - PCM inorganici, ossia gli Idrati di sale (MnH2O).

I sali idrati sono leghe di sali inorganici e acqua, che formano un solido cristallino. Durante la cristallizzazione, questi sali inglobano un certo numero di molecole di acqua. Invece, il processo di fusione, che è in realtà una disidratazione del sale, porta alla formazione di un sale idrato e di acqua. Nello specifico, riscaldando un sale idrato si ha la perdita dell'acqua inglobata nella struttura cristallina, e perdendo l'acqua di cristallizzazione, il sale cambia aspetto e colore.¹²

Vantaggi dei PCM inorganici:

- Compatibilità con il materiale di costruzione
- Capacità di immagazzinamento del calore latente
- Alto punto di fusione
- Elevata conducibilità termica
- Non infiammabile

Svantaggi dei PCM inorganici:

- Il cambiamento del volume è molto grande.

III Tipologia - PCM solidi, ossia quei materiali che subiscono una transizione di fase solida/solida con l'assorbimento associato e il rilascio di grandi quantità di calore.

Questi cambiano la loro struttura cristallina, da una configurazione di reticolo ad un'altra, ma non vi è alcuna modifica visibile dell'aspetto del PCM (avviene solamente una lieve visibile espansione o una leggera contrazione).

¹⁰ Istituto ISE di Friburgo - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

¹¹ Si vedano le informazioni relative all'ambito economico - cap. 3.4, relativo ai tre sistemi di isolamento ultraperformanti analizzati: VIP, PCM e Termoriflettenti.

¹² Gallo Paola, Progettazione sostenibile, Alinea Editrice, Firenze, 2005.



Foto 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28

Nelle foto riportate, diverse applicazioni di PCM: in alto, pannelli trasparenti in copertura; sotto, microcapsule PCM integrate nel plexiglass. Infine, nelle ultime due foto sottostanti, rispettivamente vi sono microcapsule integrate in una tenda oscurante e capsule in una parete vetrata esterna.

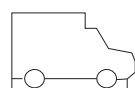
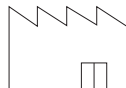
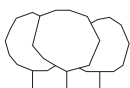
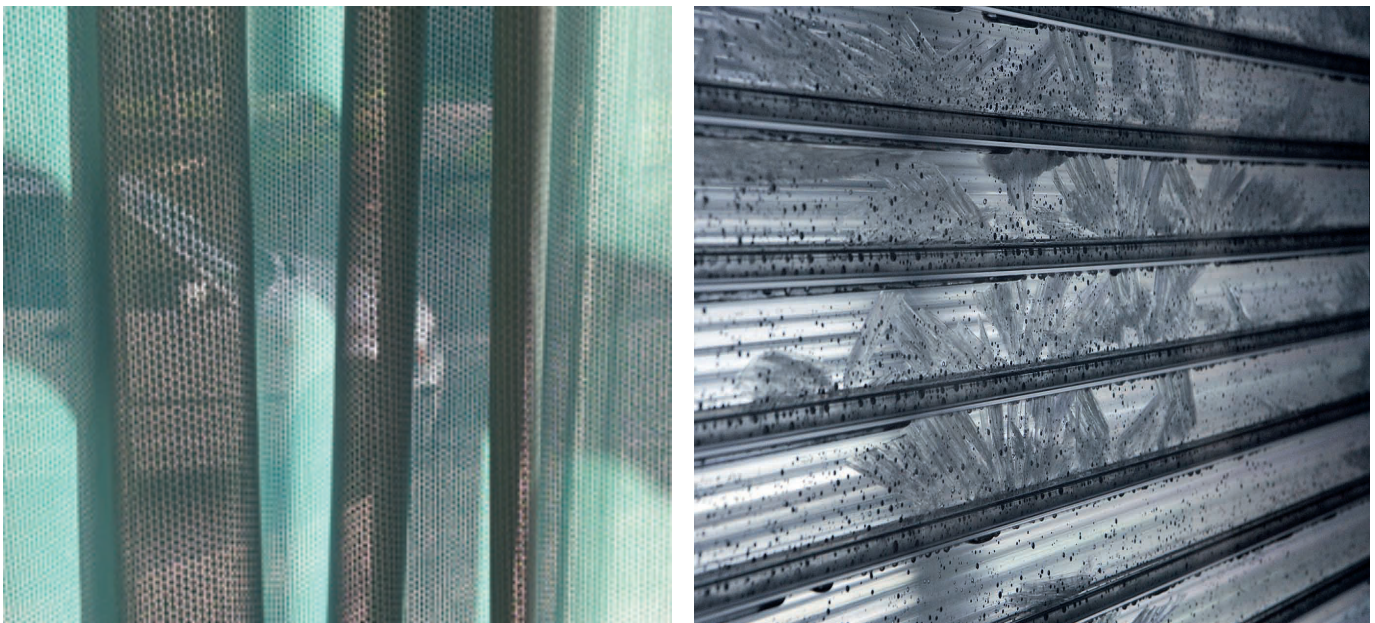




Foto 2.29
Pannelli PCM per isolare un controsoffitto.

Vantaggi dei PCM solidi:

- Compatibilità con il materiale di costruzione
- Elevato calore di fusione
- Rilasciano molto calore

Svantaggi dei PCM solidi:

- Infiammabilità.¹³

IV Tipologia - PCM Eutettici, ossia una miscela di sostanze il quale punto di fusione è più basso di quello delle singole sostanze che lo compongono. Tutti i loro elementi fondono e solidificano simultaneamente. Sono simili ai metalli.

Vantaggi dei Materiali Eutettici:

- Compatibilità con il materiale di costruzione
- Hanno un punto di fusione simile alla sostanza pura

Svantaggi dei Materiali Eutettici:

- Sono disponibili solo dati limitati sulle proprietà termo-fisiche, in quanto l'utilizzo di questi materiali è relativamente nuovo per l'applicazione di stoccaggio termico.¹³

2.2.3 Campi di applicazione

In edilizia i materiali a cambiamento di fase sono prodotti ideali per le soluzioni di gestione termica. Ciò è possibile perché memorizzano e rilasciano energia termica durante il loro processo di fusione e congelamento (passando da una fase all'altra). Quando un tale materiale si blocca, rilascia grandi quantità di energia sotto forma di calore latente di fusione o energia di cristallizzazione. Al contrario, quando diventa liquido, una quantità uguale di energia viene assorbita dall'ambiente immediato. Questa proprietà può essere utilizzata in diversi modi, come l'immagazzinamento di energia termica, in cui il calore o la freschezza possono essere memorizzati e poi utilizzati in una data successiva o in una posizione diversa.¹³

Di seguito, una tabella con i principali campi di applicazione di questi isolanti:



Foto 2.30
Pannelli con integrate capsule di PCM per isolare una copertura dall'esterno.

	isolamento dall'interno	dall'esterno	nell'intercapedine
parete perimetrale	×	×	×
parete interna	×	×	×
parete controterra	×	×	×
copertura	×	×	
solaio sottotetto	×	×	
solaio su vespaio	×	×	
solaio verso cantina	×	×	
isolamento acustico	×	×	×

Ricordiamo che i PCM si presentano sotto forma di microcapsule contenute nel gesso, cartongesso, legno, intonaco, plexiglass, cemento, oppure possono essere applicati in soluzioni impiantistiche, quali riscaldamento, raffrescamento, collettori solari e scambiatori di calore. Tali materiali sono usati in edilizia per ridurre i consumi energetici necessari alla climatizzazione degli ambienti: accumulano calore di giorno, diventando liquidi, sottraendolo all'ambiente interno, per rilasciarlo poi di notte quando la temperatura esterna si abbassa., e diventando così solidi.

Risultati positivi si sono ottenuti aggregando ad esempio le nanosfere di PCM nei pannelli in cartongesso, nel legno, nell'intonaco, nei sistemi di facciata trasparenti (sia vetrati sia in plexiglass), e in vari isolanti termici (pannelli, lastre, cappotti), ma vi sono potenzialità di impiego anche negli impianti di riscaldamento e raffrescamento passivo, nei collettori solari e negli scambiatori di calore.

¹³ Fonte: Ditte BASF, Porextherm e Rigips.

2.3 ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI

2.3.1 Caratteristiche principali e processo produttivo

Gli isolanti termoriflettenti stratificati sono rotoli di materiale coibente, composti da varie pellicole di polietilene, accoppiate o fuse su fogli di alluminio puro (che rappresentano l'involucro). Lo spessore è molto ridotto, ma hanno un elevato potere isolante, soprattutto grazie alla riflessione del calore trasmesso per radiazione. Si tratta di materiali iperisolanti e provengono dall'industria aerospaziale. In uno spessore ridotto, pari a circa 25 mm, essi riescono a garantire l'isolamento termico equivalente a quello che si raggiunge con l'utilizzo di 150 - 200 mm di un isolante tradizionale, come la lana di vetro e la lana di roccia¹⁴ (per i dati specifici riportati si veda il confronto - tabella capitolo 3.4).

Il termine *termoriflettente* indica la peculiarità degli strati di riflettere l'irraggiamento termico: essi sono composti da fogli in poliestere riflettente e lamine di alluminio puro, che presentano una bassa emissività e che contengono aria secca al loro interno, sotto forma di bolle d'aria o schiuma di polietilene (quindi si tratta di fogli multistrato in alluminio, alternati a fogli isolanti). Inoltre, per quanto riguarda il funzionamento del processo di riflessione, quanto più cresce la differenza di temperatura tra l'ambiente interno e quello esterno, tanto più questo è efficace.¹⁴

Questi materiali vengono venduti in rotoli, che ne rendono facile il loro trasporto e la manodopera. Usare gli isolanti termoriflettenti stratificati significa valorizzare al massimo lo spazio di un immobile. Trattandosi di pellicole, possono essere facilmente applicate sia all'interno che all'esterno, in tempi molto rapidi e senza maestranze qualificate. I rotoli, infatti, vengono fissati su un supporto ligneo: gli strumenti necessari sono esclusivamente delle graffette edili ed un cutter per il taglio delle strisce termoriflettenti.¹⁵ Ciò significa che, una volta prodotti, essi vengono stesi e tagliati direttamente sul cantiere, e non nello stabilimento che li produce. Questa è un'altra delle caratteristiche che rendono questi materiali molto pratici.

2.3.2 Vantaggi e svantaggi

Di seguito riportiamo i principali punti di forza di questo isolamento innovativo (per i dati specifici riportati di seguito, si veda il confronto - tabella cap. 3.4).

*Vantaggi termici:*¹⁵

1. In inverno, gli isolanti termoriflettenti creano una barriera al freddo e restituiscono il calore emesso all'interno delle stanze.
2. In estate, rimandano all'esterno l'irraggiamento per evitare il surriscaldamento nei sottotetti. Nello specifico, i film riflettenti esterni rimandano l'irraggiamento infrarosso verso la sua sorgente di emissione. Inoltre, ogni pellicola riflettente interna costituisce uno sbarramento ulteriore alla trasmissione di calore per irraggiamento.
3. La loro efficacia in termini termici consente una riduzione dei consumi per la climatizzazione ed un aumento del comfort abitativo degli immobili, in spessori di isolamento ridotti. Vi sono buone prestazioni energetiche unite ad ingenti risparmi.

*Vantaggi costruttivi:*¹⁵

1. Sono riciclabili e incombustibili.
2. Trattandosi di rotoli, sono leggeri, facili da manovrare, da trasportare e da immagazzinare (esempio: in 5mc viene stoccato l'equivalente di 90 mc di isolante tradizionale). Inoltre, consentono di ridurre gli spessori e il peso finale negli edifici in cui vengono utilizzati.
3. Il rotolo si taglia facilmente con un cutter e si installa in modo pratico e veloce: viene fissato ad un supporto ligneo tramite graffette.
4. Sono molto sottili, quindi vi è un vantaggio in termini di superficie abitabile in tutti gli edifici in cui vengono impiegati: ad esempio, con un termoriflettente Actis di 4 cm si guadagnano 3m² di superficie abitabile in 100 m² di costruzione verticale).
5. Oltre alla facilità di trasporto e di applicazione, essi sono facili da rimuovere una



Foto 2.31
Termoriflettenti stratificati - Cappotto esterno. Fonte: Ditta francese Actis.

¹⁴ Fonte: Ditte Actis, Peg e Over - All.

¹⁵ Dati confermati ad esempio dall'EPD del rotolo termoriflettente Actis Triso Super.

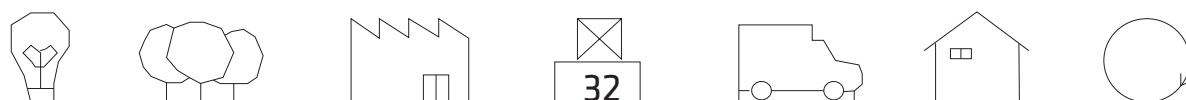




Foto 2.32
Termoriflettenti stratificati - Isolamento di un solaio. Fonte: Ditta francese Acis.

volta che hanno concluso il loro ciclo di vita.

6. Sono molto pratici sul cantiere: data la loro flessibilità, si adattano a tutti i supporti e possono assumere tutte le forme. Consentono dunque risparmi in tempi di stoccaggio a magazzino, trasporto e movimentazione in cantiere.

7. Grazie allo spessore ridotto, risultano essere indicati per le riqualificazioni, quando è scarso lo spazio disponibile e alta la necessità di un efficace isolamento termico.

Vantaggi economici: ¹⁶

1. I costi, a differenza dei VIP e dei PCM, sono accessibili a tutti, anzi si può dire che si tratta di un sistema di isolamento innovativo ma economico (in media, un rotolo di 7 mm costa 10-15 €/mq).

Per quanto riguarda i vantaggi relativi alla loro applicazione in edilizia, i maggiori produttori di materiali termoriflettenti (si veda la tabella con le principali ditte attualmente attive, cap. 3.3) hanno mostrato, tramite propri progetti, che gli edifici isolati con questa soluzione innovativa presentano:

- Pareti interne più calde in inverno e fresche in estate
- Minori moti convettivi all'interno dell'ambiente
- Migliore comfort abitativo a parità di temperatura interna
- Ottima barriera all'aria
- Continuità di isolamento
- Freno al vapore
- Riduzione degli spessori delle strutture

Di seguito riportiamo alcuni punti di debolezza, ma anche alcune possibili strategie di intervento proposte dai maggiori produttori di questo sistema di isolamento (si veda la tabella con le principali ditte attualmente attive nel mercato, cap. 3.3).

Svantaggi applicativi - possibili soluzioni mirate:

1. Come i VIP e i PCM, anche gli isolanti termoriflettenti stratificati sono una soluzione di isolamento molto innovativa, quindi ancora oggi non del tutto conosciuta. Inoltre, trattandosi di una tecnologia tutt'ora in fase di sperimentazione, non si hanno riscontri precisi sulla sua durabilità rispetto ai dati certi e ormai noti, relativi ai sistemi di isolamento tradizionali.

--> La durabilità è nota ¹⁷ - Recenti studi condotti da alcuni importanti produttori di isolanti termoriflettenti, come la ditta Actis e la Over-All, hanno mostrato con progetti reali che questi isolanti hanno una buona durata, dai 35 ai 50 anni e oltre.



Foto 2.33
Termoriflettenti stratificati - Isolamento di un controsoffitto. Fonte: Ditta PEG.

2.3.3 Campi di applicazione

I materiali termoriflettenti stratificati possono essere impiegati per svariate applicazioni e la posa è molto pratica: essendo rotoli, vengono stesi e poi fissati ad un supporto ligneo tramite graffette. E' molto importante ricordare che questi isolanti ultraperformanti non hanno bisogno di nastri adesivi o colle, poiché è necessario che l'aria passi tra i diversi strati e faccia vibrare le varie pellicole.

Quelli che vengono utilizzati, ad esempio, per le coperture e i sottotetti riescono a respingere i raggi solari evitando il surriscaldamento del sottotetto stesso, mentre d'inverno impediscono al calore di uscire, limitando il fenomeno dell'escursione termica, sia nell'arco della giornata sia su periodi più lunghi.

Sui solai con riscaldamento a pavimento, invece, questi isolanti innovativi fanno in modo che il calore irradiato dalla serpentina non si disperda nell'ambiente sottostante, ma, riflettendosi, rimanga all'interno e garantisca un ottimo comfort abitativo.

Questo sistema di isolamento è particolarmente indicato per isolare:

- Il retro dei termosifoni
- Le coperture (manto di copertura in cemento, legno, pietra e orditura metallica)
- Le pareti verticali (interne ed esterne, muratura o cartongesso)
- I sottotetti
- I pavimenti
- Le facciate ventilate
- I pavimenti radianti ad acqua calda e sotto massetto flottante

¹⁶ Fonte: Ditte Actis, Decorus, Peg, Over-All.

¹⁷ Dati confermati ad esempio dall'EPD del rotolo termoriflettente Actis Triso Super.

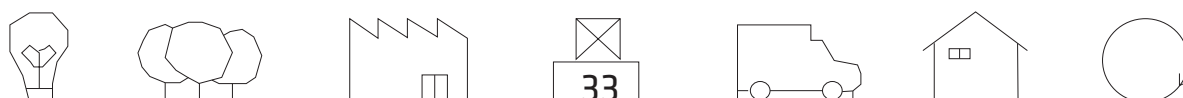




Foto 2.34

Altri due esempi di applicazione dei rotoli termoriflettenti stratificati: nella foto sovrastante, l'isolamento di una pavimentazione.

Foto 2.35

Nella foto sottostante, l'isolamento di una copertura, dall'interno. Fonte: Ditte produttrici di rotoli termoriflettenti, tra cui Actis, TLX e Decorus.





Foto 2.36
Termoriflettenti stratificati - Isolamento delle pareti di una serra di una residenza nella Bergamasca. Lavori eseguiti dalla Ditta Vanoncini SPA, con rotoli Actis.

Di seguito, una tabella con i principali campi di applicazione di questi rotoli isolanti:

	isolamento dall'interno	dall'esterno	nell'intercapedine
parete perimetrale	×	×	×
parete interna	×	×	×
parete controterra	×	×	×
copertura	×	×	
solaio sottotetto	×	×	
solaio su vespaio	×	×	
solaio verso cantina	×	×	
isolamento acustico	×	×	×

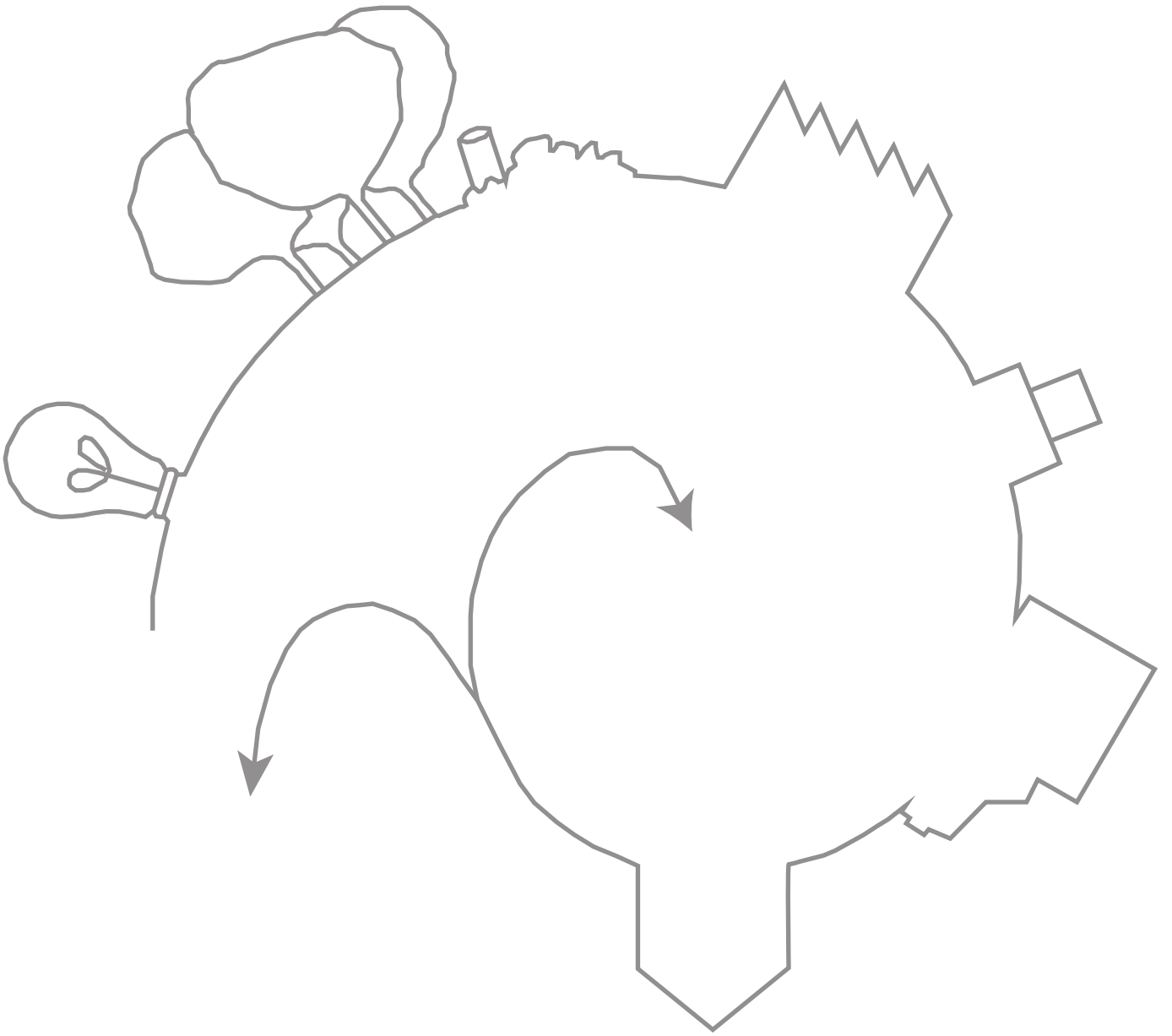
Questa prima analisi (capitoli 2.1 - 2.2 - 2.3), ha esposto e descritto in modo dettagliato gli isolanti VIP, i PCM e i materiali Termoriflettenti stratificati. Nel capitolo seguente (cap. 3), viene presentato un confronto in termini pratici, economici ed ambientali, per mostrare le potenzialità di questi sistemi di isolamento di ultima generazione, e tutti i punti di forza che potrebbero condurre un progettista a scegliere, valutando progetto per progetto, un isolante innovativo ultraperformante.



Foto 2.37, Foto 2.38

Nella foto soprastante, l'isolamento di una facciata ventilata. Fonte: Ditte produttrici di rotoli termoriflettenti, tra cui Actis, TLX e Decorus. Nella foto sottostante, invece, l'isolamento di una copertura dall'esterno, tramite l'utilizzo di rotoli termoriflettenti stratificati in una residenza.





3. VIP, PCM, ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: APPLICAZIONI

CASO STUDIO	PROGETTISTA	CITTA'	NAZIONE	CONTINENTE
VIP - ESEMPI EUROPEI				
Eza-house	Allgau Energy and Environment Centre	Kempten	Germania	Europa
Single-family house	Beat Consoni	Landschlacht	Svizzera	Europa
Casa unifamiliare	Martin Forstner	Neumarkt	Italia	Europa
Plusenergiehauser	Rolf Dish Solar Architektur	Friburgo	Germania	Europa
Energiehaus Farschweiler	Architekten Stein Hemmes Wirtz	Farschweiler	Germania	Europa
Quarter of Nations	Gerber Architekten	Amburgo	Germania	Europa
TBZ Cologne	SSP SchürmannSpannel	Colonia	Germania	Europa
VIP - ESEMPI EXTRA EUROPEI				
Campus a Ottawa	NRC test hut	Ontario	Canada	America
Reroofed NRC office building	NRC test hut	Ontario	Canada	America
PCM - ESEMPI EUROPEI				
Haus Der Gegenwart	Allman Wappner Sappner	Monaco	Germania	Europa
Marché International Support Office	Beat Kampfen Buro Fur Architektur	Kemptthal	Svizzera	Europa
Green Lighthouse	Christensen & Co Arkitekter	Copenaghen	Danimarca	Europa
Wilo Nederland industrial building	Benthem Crouwel Architects	Zaanstad	Paesi Bassi	Europa
Floting Pavilion	Deltasync-PublicDomain Architects	Rotterdam	Paesi Bassi	Europa
Solar House	Studio Albori	Vens	Italia	Europa
iCon Innovation Centre	Consarc Architects	Daventry	Inghilterra	Europa
Smart is green	Zillerplus Architekten	Monaco	Germania	Europa
PCM - ESEMPI EXTRA EUROPEI				
Council House 2	DesignInc	Melbourne	Australia	Oceania
Easton Archery Centre	Bob Easton Architects	Chula Vista	Stati Uniti	America
NH Middle School	SAU	Newton	Stati Uniti	America
University of Washington	ZFG Architects	Seattle	Stati Uniti	America
Franklin Towers	Tarrytown housing authority	Tarrytown	Stati Uniti	America
TERMORIFLETTENTI - ESEMPI EUROPEI				
CasaClima Lombardia	Atelier 2	Bergamo	Italia	Europa
Residenza Ferrari	Arch. Randazzo	Caprino Bg	Italia	Europa
Nuova sede Eramo Paolo	Eramo Legno System	L'Aquila	Italia	Europa
Palazzina residenziale	Arch. Francesca Capelli	Brembate Sopra	Italia	Europa
La Corte del Futuro	Atelier 2	Bergamo	Italia	Europa
Palazzo dell'Agricoltura	Arch. Nicolini	Mantova	Italia	Europa
Residenza Radaelli	GFM Studio Associato	Treviglio	Italia	Europa
City Life	Zaha Hadid Architects	Milano	Italia	Europa
C-ASA progetto sperimentale	Atelier 2	Lecco	Italia	Europa
Futurdome	A-SEPTICA	Milano	Italia	Europa

3.1 APPLICAZIONI A CONFRONTO: CONSIDERAZIONI SU ESEMPI EUROPEI ED EXTRAEUROPEI

Il censimento qui sopra presentato (casi studio - tabella 1 in entrambe le pagine) ha come obiettivo quello di mostrare alcune delle principali e più recenti applicazioni relative ai tre sistemi di isolamento di ultima generazione analizzati, ossia:

- i Vacuum Insulated Panels (Pannelli isolanti sottovuoto - VIP),
- i Phase Change Materials (Materiali a Cambiamento di Fase - PCM),
- i materiali Termoriflettenti Stratificati.

L'ambito che è stato considerato è sia il panorama europeo che quello extraeuropeo. Considerando questi esempi, da subito si può notare che vi sia una netta prevalenza di applicazioni europee, soprattutto per quanto riguarda i materiali termoriflettenti stratificati, che sono i più recenti e i più sperimentati nel nostro continente, soprattutto considerando gli ultimi quindici anni in cui essi si sono sviluppati.

Tabella 1 (entrambe le pagine): Censimento Casi Studio europei ed extraeuropei.

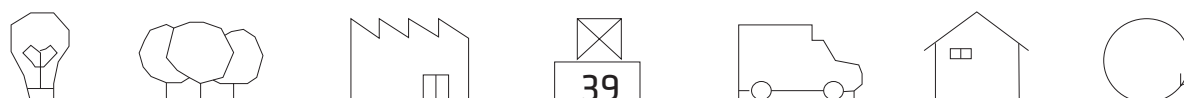


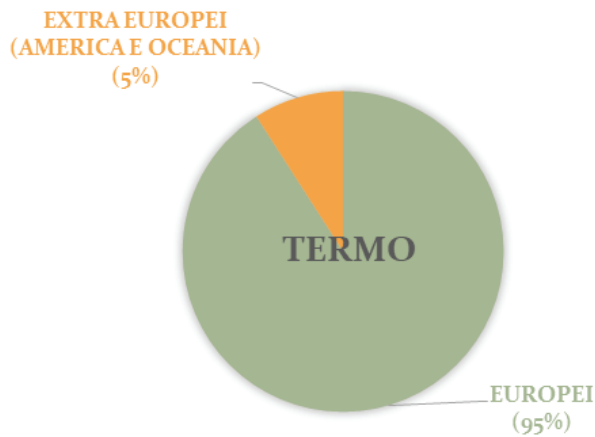
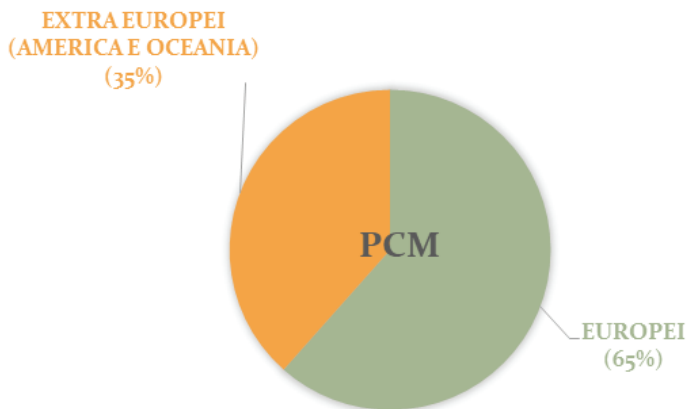
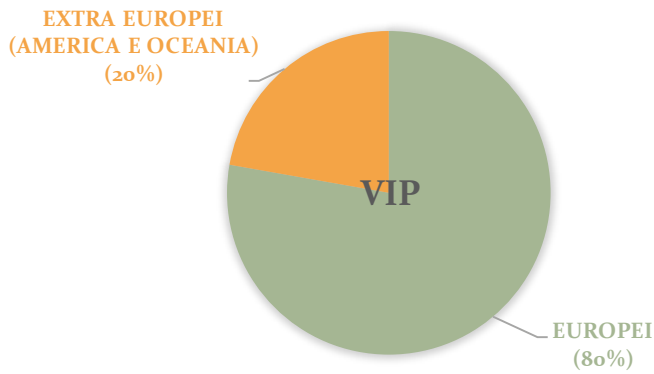
ANNO	SCHEDA (caso studio)	USO	INTERVENTO	APPLICAZIONE	DITTA
VIP - ESEMPI EUROPEI					
2002	VIP	Residenza	Riqualifica	Partizioni orizzontali	Vaku Isotherm
2003	VIP	Residenza	Nuovo	Parete esterna	Porextherm
2004	VIP	Residenza	Nuovo	Parete esterna	VacuVisotec KG
2006	VIP (a)*	Residenza-Terziario	Nuovo	Parete esterna	-
2011	VIP (b)*	Residenza	Nuovo	Parete esterna	-
2014	VIP (c)*	Residenza	Nuovo	Parete esterna	-
2015	VIP (d)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna	Kingspan
VIP - ESEMPI EXTRA EUROPEI					
2009	VIP (e)*	Residenza	Riqualifica	Parete esterna	-
2011	VIP (f)*	Terziario	Riqualifica	Tetto	-
PCM - ESEMPI EUROPEI					
2004	PCM	Residenza	Nuovo	Parete esterna opaca	BASF
2007	PCM (a)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna trasparente	GlassX
2008	PCM (b)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna trasparente	Knauf
2009	PCM	Terziario	Nuovo	Tetto	-
2010	PCM (c)*	Terziario	Nuovo	Involucro	-
2011	PCM	Residenza	Nuovo	Parete esterna opaca	Rigips
2011	PCM (d)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna trasparente	DuPont
2013	PCM (e)*	Residenza	Nuovo	Sistemi oscuranti	BASF
PCM - ESEMPI EXTRA EUROPEI					
2006	PCM (f)*	Terziario	Nuovo	Involucro	-
2009	PCM	Terziario	Nuovo	Parete esterna trasparente	-
2015	PCM	Terziario	Nuovo	Partizioni orizzontali	-
2016	PCM	Terziario	Nuovo	Parete esterna opaca	-
2016	PCM	Terziario	Riqualifica	Tetto	Insolcorp
TERMORIFLETTENTI - ESEMPI EUROPEI					
2008	TERMORIFLETTENTI (a)*	Residenza	Nuovo	Parete su serra	Actis
2009	TERMORIFLETTENTI (b)*	Residenza	Riqualifica	Parete esterna	Actis
2011	TERMORIFLETTENTI (c)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna	Actis
2011	TERMORIFLETTENTI	Residenza	Nuovo	Parete esterna	Actis
2011	TERMORIFLETTENTI (d)*	Residenza	Nuovo	Parete esterna	Actis
2011	TERMORIFLETTENTI	Terziario	Riqualifica	Partizioni orizzontali	Actis
2013	TERMORIFLETTENTI	Residenza	Nuovo	Partizioni orizzontali	Actis
2014	TERMORIFLETTENTI (e)*	Residenza	Nuovo	Parete esterna	Actis
2015	TERMORIFLETTENTI (f)*	Terziario	Nuovo	Parete esterna e copertura	Actis
2017	TERMORIFLETTENTI	Residenza	Riqualifica	Partizioni orizzontali	Over-All

Per ogni caso studio, riportato qui sopra in tabella, sono stati definiti:

- Progettista
- Città - Nazione - Continente
- Anno
- Scheda (caso studio) - ossia l'isolamento adottato
- Uso - ossia residenza, terziario o residenza-terziario
- Intervento - ossia di nuova costruzione o di riqualifica
- Applicazione - ossia dove è stato applicato l'isolante
- Ditta produttrice dell'isolante termico scelto per quel determinato progetto

* N.B.: la dicitura della colonna SCHEDE (caso studio) fa riferimento al tipo di isolamento adottato e al capitolo 3.2 seguente, nel quale vengono analizzati i progetti selezionati (6 per ogni categoria).

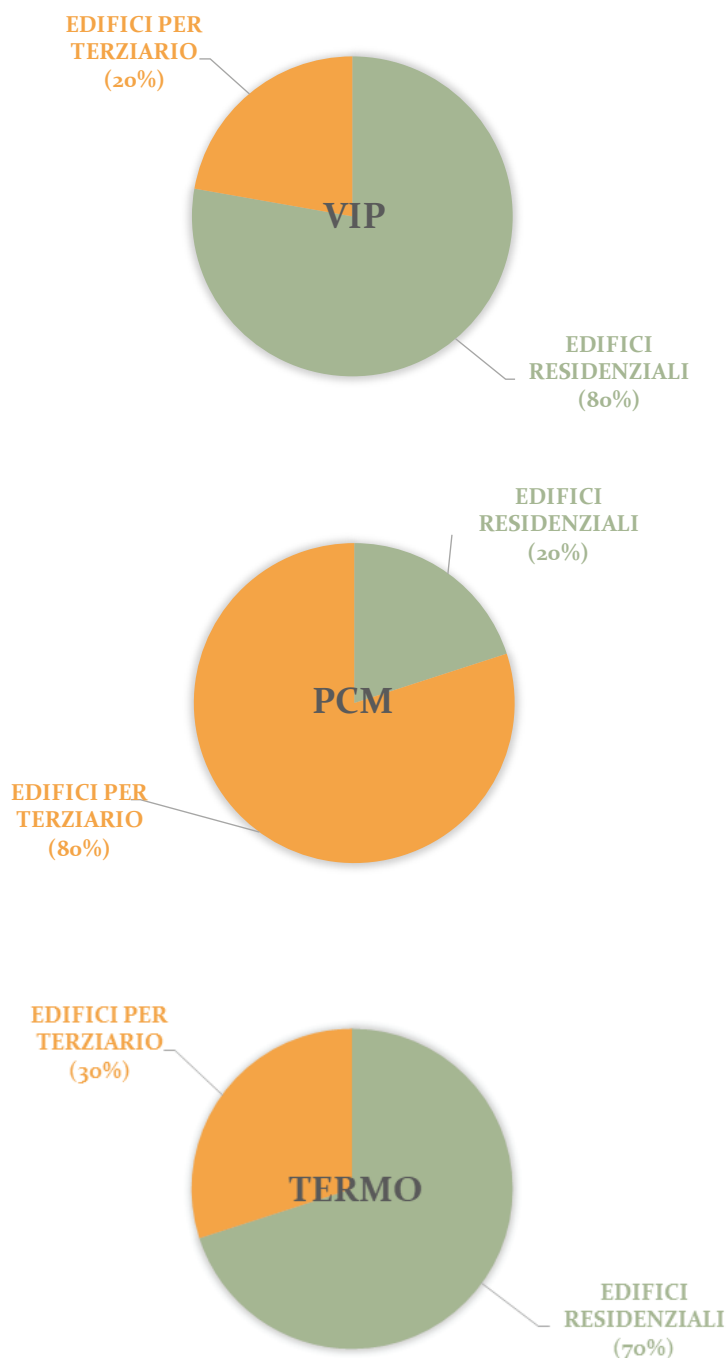




Innanzitutto, per quanto riguarda i casi extra europei, come si può vedere dai grafici soprastanti, sono stati presi in considerazione solo l'Oceania e, soprattutto, l'America, poiché negli altri continenti i progetti presenti (di nuova costruzione o di riqualifica) erano pochissimi, spesso sprovvisti completamente di informazioni o con dati poco attendibili. Oltre a ciò, è doveroso precisare che le considerazioni e i grafici seguenti non si riferiscono di certo ad un panorama totale o generale. Basandoci sui maggiori produttori e rivenditori dei tre sistemi di isolamento in analisi, infatti, abbiamo inizialmente selezionato una sessantina di casi studio, e abbiamo poi scelto quelli con le maggiori informazioni (sette casi studio per ciascuno dei tre isolanti).

Ricordiamo che, essendo tecnologie all'avanguardia, molto innovative, non è stato sempre semplice reperire dati attendibili, quindi abbiamo dovuto tralasciare molti esempi validi che però non erano descritti in modo esaustivo.

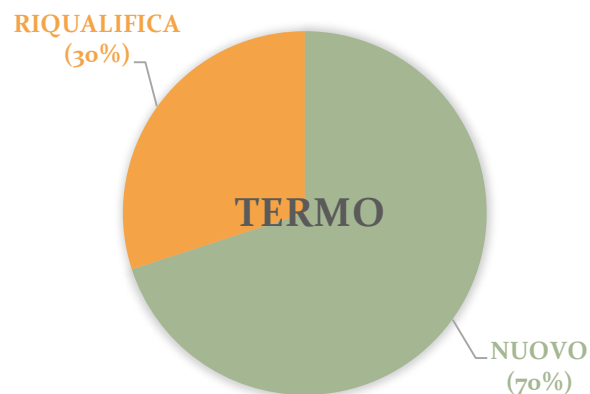
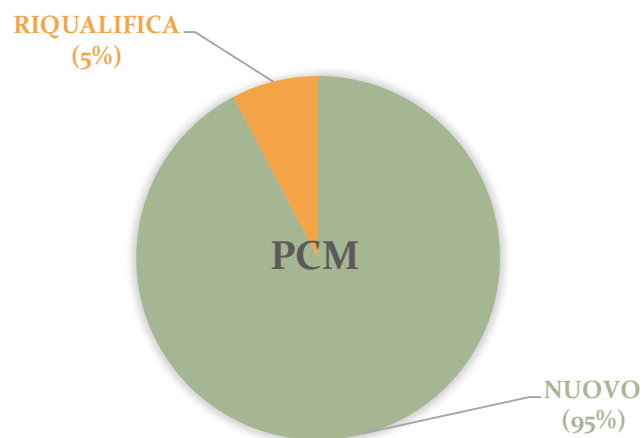
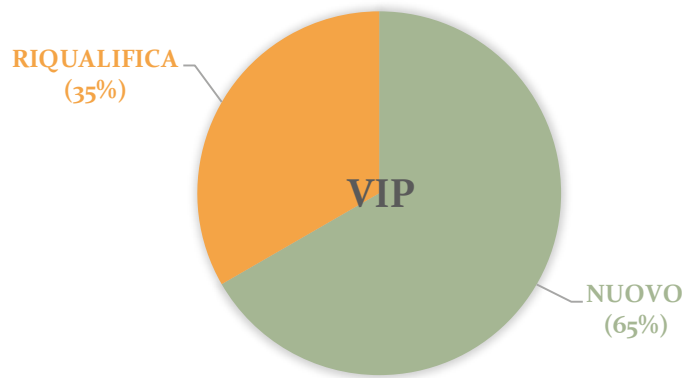




Un altro criterio utilizzato per stilare questo elenco è stato quello di seguire l'evoluzione temporale e tecnica di ciascuno dei tre sistemi altamente performanti presi in analisi, e di interessarci soprattutto di questi anni. Tra le tre innovazioni, la meno recente è rappresentata dai VIP e i relativi esempi mostrano che vi è stato uno sviluppo negli anni 2002-2006 e poi una ripresa solo dopo il 2011. Ciò si deve alla presenza di progressi durante la sperimentazione stessa: al posto di utilizzare l'acido silicico microporoso, inserito e pressato in un involucro di alluminio, i maggiori produttori dei Vacuum Insulated Panels hanno successivamente scoperto i vantaggi dell'aerogel, e scelto di utilizzare questo. I PCM invece, si sono sviluppati pochi anni dopo rispetto ai Vacuum Insulated Panels, soprattutto a partire dal 2009. Infine vi è stato lo sviluppo dei materiali isolanti termoriflettenti stratificati (o con un solo strato): essi sono i più recenti, applicati soprattutto dal 2011 ad oggi.

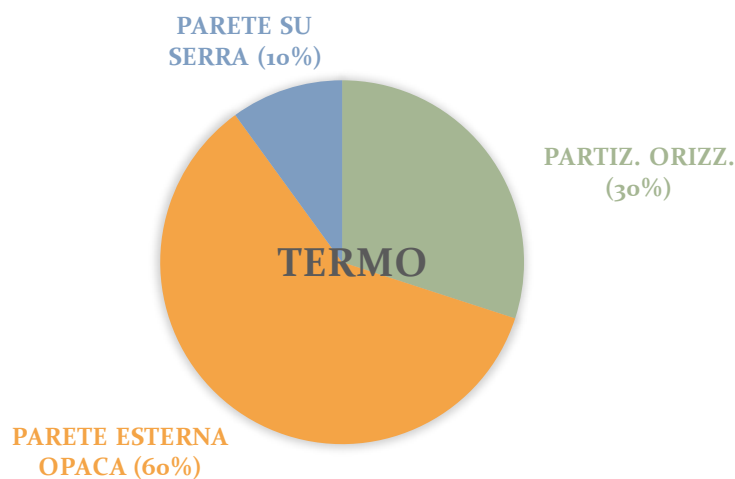
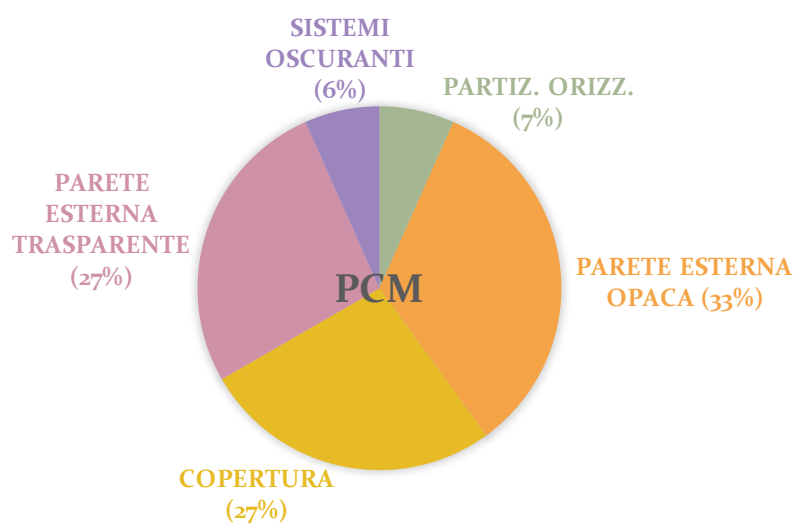
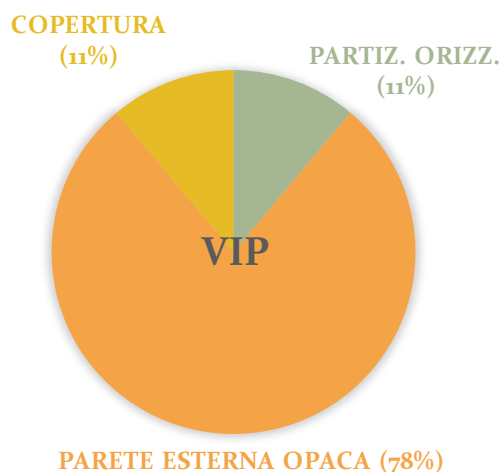
Un altro criterio da noi scelto per questa analisi, come si può vedere dai grafici soprastanti, è stato quello di verificare l'uso di queste tre tecnologie ultra performanti; da questi esempi, abbiamo notato che i pannelli sottovuoto sono utilizzati soprattutto nelle residenze, i materiali a cambiamento di fase sono applicati prevalentemente negli edifici destinati al terziario, (uffici), infine i termoriflettenti prevalgono, come i VIP, negli edifici residenziali.



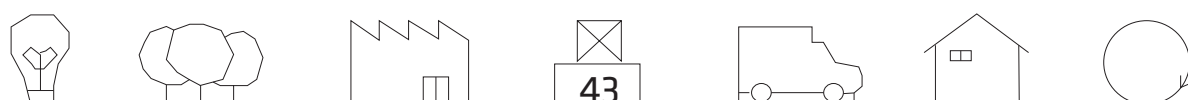


Un'ulteriore analisi è stata fatta per capire se i VIP, i PCM e i termoriflettenti stratificati siano/ siano stati utilizzati soprattutto in edifici di nuova costruzione o in quei progetti sottoposti ad un intervento di riqualifica. Ne è risultato che, per tutti e tre, si preferisce l'applicazione sul nuovo, essendo materiali molto innovativi e tutt'oggi in fase di sperimentazione, ma in alcuni casi si procede anche sulle ristrutturazioni. Ciò vale soprattutto per i VIP, per la loro modalità di applicazione, e per i termoriflettenti.





Infine, come si può vedere dai grafici sovrastanti, l'ultima considerazione nell'analisi di questi casi studio è stata quella di verificare in quale elemento tecnologico fosse maggiormente applicato ciascuno dei tre sistemi di isolamento. I grafici mostrano che, per tutti e tre gli isolanti analizzati, prevale l'uso su pareti esterne, coperture, in alcuni casi l'intero involucro e su partizioni orizzontali. I materiali a cambiamento di fase hanno campi di applicazione anche specifici, in quanto possono ad esempio essere utilizzati come parte integrante di sistemi oscuranti o parapetti, oppure nelle superfici vetrate. Il capitolo successivo mostra le schede di approfondimento di alcuni casi studio contenuti nel censimento (tabella del cap. 3.1).

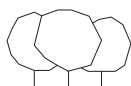


3.2 BREVE ANALISI DI ALCUNI CASI STUDIO

3.2.1 Vacuum insulated Panels: applicazioni

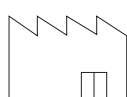
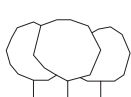
CASO STUDIO a	Plusenergiehäuser
ARCHITETTI	Rolf Dish Solar Architektur
COMMITTENTE	Solarsiedlung GMBH
LUOGO	Quartiere Vauban, Friburgo, Germania
ANNO	2003-2006
USO	Edifici destinati a residenze (in linea) e al terziario (spazi commerciali ed uffici)
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Per avere un isolamento termico molto efficiente sono stati installati circa 1000 mq di pannelli isolanti sottovuoto nelle pareti esterne.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - Vi sono 58 unità abitative e l'edificio principale, il Sonnenschiff (la nave solare), ospita sulla sua sommità 4 residenze. - Gli appartamenti sono di varie dimensioni (91-168 mq) e contengono dai tre ai cinque locali. Essi sono modulabili: la semplice geometria (pianta rettangolare e una copertura ad una falda inclinata) può essere replicata, anche verticalmente. - Una superficie vetrata protegge le case e le terrazze dai rumori provenienti dalla strada e dal vento, lasciando però permeabile la vista delle colline circostanti. - Gli edifici producono più energia di quanto ne consumino grazie all'ottimizzazione dell'efficienza energetica e all'uso di pannelli fotovoltaici (sulle coperture, la potenza totale installata è di 445 kWh e la produzione totale annuale raggiunge i 420.000 kWh). - L'utilizzo di moderne tecnologie ha garantito la riduzione dei consumi energetici: i muri esterni, i parapetti e i box per la ventilazione sono realizzati con metallo o con pannelli di vetro ad alta efficienza. - La particolare sezione è studiata per favorire i guadagni solari durante l'inverno e proteggere la facciata durante l'estate.

Masterplan di progetto e foto del complesso.



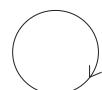
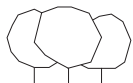
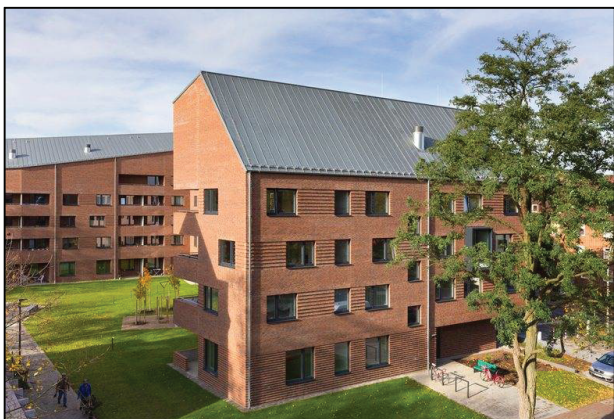
CASO STUDIO b	Energiehaus Farschweiler
ARCHITETTI	Architekten Stein Hemmes Wirtz
COMMITTENTE	Cliente privato
LUOGO	Farschweiler, Germania
ANNO	2011
USO	Edificio destinato a residenza
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Per avere un isolamento termico efficiente le pareti perimetrali sono state isolate con pannelli sottovuoto.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - La residenza a due piani occupa un'area in pendenza di 317,1 mq e forma al piano superiore una piattaforma che collega l'interno con l'ambiente circostante, offrendo una vista sulla campagna: questo rapporto è visibile dalla linea di costruzione, dalla forma del tetto e dall'altezza della gronda. - La vista più spettacolare è consentita attraverso una grande finestra a nord, la più grande sfida in termini di costruzione passiva delle case. Qui, invece della consueta soluzione con triplo vetro delle altre finestre, la grande apertura è stata progettata e realizzata con vetri quadrupli. - E' stata creata con tecnologia costruttiva mista: cemento armato al piano terra, legno massiccio al piano superiore. - La committenza ha richiesto l'uso di materiali da costruzione ecologici. - L'involucro in legno massiccio garantisce funzione statica ed un comfort interno ottimale: la parete in legno ha una capacità di accumulo di calore, e tutto ciò è ottimizzato dalla scelta di pannelli isolanti ultra performanti sottovuoto. - La facciata del primo piano è strettamente coibentata con profili di larice siberiano, riciclato dal processo di produzione dei profili dei serramenti. - In copertura si trovano moduli fotovoltaici. Questo componente aggiuntivo della casa passiva può essere usato come + Energy House. - L'edificio ha un sistema di ventilazione con recupero di calore.

Foto dell'edificio.



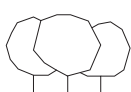
CASO STUDIO c	Quarter of Nations
ARCHITETTI	Gerber Architekten
COMMITTENTE	E' stato finanziato con fondi pubblici tedeschi
LUOGO	Quartiere Wilhelmsburg , Amburgo, Germania
ANNO	2014
USO	Due edifici destinati a residenze
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Sono stati installati pannelli isolanti sottovuoto nelle logge sospese in facciata: queste strutture prefabbricate in acciaio possono quindi avere pareti sottili ed ottime prestazioni termiche.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - Si tratta di un modello di progetto abitativo interculturale, destinato ad ospitare oltre 1.700 abitanti provenienti da 30 diverse nazioni. Vi sono un totale di 75 unità abitative, di diverse dimensioni e forme di alloggio, disposte in un edificio a pianta ad U ed un altro a pianta a I. - Tutti gli appartamenti sono conformi agli standard richiesti per le abitazioni sovvenzionate: nell'edificio ad U, questi si affacciano sul cortile interno, mentre nell'edificio a I, si affacciano verso il parco pubblico. Le logge, appartenenti ciascuna ad un appartamento, si collegano direttamente con le aree abitative, in modo che sembrano essere un'estensione dello spazio abitativo. Questa transizione fluida crea una relazione tra l'interno e lo spazio esterno. - Le pareti portanti e non portanti sono costruite in blocchi di calcare con intonaco di gesso minerale. - La facciata esterna si integra nella zona della copertura (in lamiera zincata), assicurando che il tetto non sporga dalla gronda. - Le finestre in PVC sono dotate di tripli vetri antisolarari. - Tutti gli abitanti hanno l'opportunità di prendersi cura di uno spazio verde: queste isole di sei metri, bordate da siepi, sono disposte intorno al complesso. - Il complesso soddisfa i requisiti di un edificio passivo ed è altamente efficiente dal punto di vista energetico; inoltre i materiali utilizzati sono poco dispendiosi in termini di risorse. - È stato utilizzato un sistema di muratura a doppia parete, isolato dal nucleo. Ciò consente agli edifici di raggiungere lo standard di qualità passiva.

Foto del complesso.



CASO STUDIO d	TBZ Cologne
ARCHITETTI	SSP SchürmannSpannel
COMMITTENTE	Centro di formazione Handwerkskammer zu Köln
LUOGO	Colonia, Germania
ANNO	2015
USO	Edificio destinato al terziario - spazio culturale e per le relazioni
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Sono stati installati pannelli isolanti sottovuoto nelle pareti perimetrali dell'edificio. Grazie a questi isolanti altamente performanti e grazie alla scelta e all'utilizzo di altre tecnologie all'avanguardia, l'edificio supera gli standard di isolamento termico fissati nell'ordinanza tedesca sul risparmio energetico (EnEV 2009, fino al 55%).
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - È un edificio high-tech, a pianta rettangolare, che costituisce un nuovo punto di partenza per lo sviluppo urbano di Colonia. Il suo posizionamento migliora l'accesso principale del centro di formazione, mentre una nuova area esterna insonorizzata fornisce uno spazio chiuso per attività e pratica. - L'idea principale alla base del progetto è stata quella di promuovere la comunicazione al suo interno e tra l'edificio e lo spazio esterno, nel contesto di uno scambio di conoscenze. Ciò è stato ottenuto organizzando un forum comunicativo come elemento di collegamento spaziale tra il piano terra e il primo piano, oltre che alla scelta di una facciata trasparente. - Le finestre di grandi dimensioni, dal pavimento al soffitto, offrono la massima trasparenza e promuovono la condivisione interdisciplinare delle conoscenze, stimolando la comunicazione visiva tra interno ed esterno. - Deflettori di luce a controllo computerizzato sono stati posti nello spazio tra i vetri delle finestre (a triplo vetro) e proteggono dalla luce solare diretta e dai bagliori in estate.

Foto dell'edificio.



47



CASO STUDIO e	Test hut (Casetta di prova)
ARCHITETTI	National Research Council (NRC)
COMMITTENTE	National Research Council (NRC)
LUOGO	Campus a Ottawa, Ontario, Canada
ANNO	2009
USO	Edificio destinato ad una residenza
INTERVENTO	Progetto di riqualifica
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Sono stati installati pannelli isolanti sottovuoto in una delle quattro pareti perimetrali dell'edificio, quella orientata verso est. I VIP sono stati posti al centro della stratigrafia esistente, con l'obiettivo di valutare le loro prestazioni termiche. L'area di prova è stata dotata di una certa temperatura e sono stati utilizzati dei sensori di umidità, per raccogliere sia dati esterni che interni.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- Il caso presentato è un esempio extraeuropeo in cui è stata sperimentata la performance dei pannelli sottovuoto all'interno di una delle pareti di un piccolo modulo abitativo, a pianta quadrata.</p> <p>- La struttura scelta è una sorta di box preesistente, che è un piccolo modulo a destinazione residenziale, ad un solo piano a doppia altezza, composto essenzialmente dalle quattro pareti perimetrali e dalla copertura.</p> <p>- L'edificio è stato monitorato dal 2010 al 2015. La figura seguente mostra le prestazioni dei pannelli VIP in funzione del tempo: le capacità termo isolanti di questi isolanti diminuiscono di pochissimo negli anni (Fonte: NRC).</p>

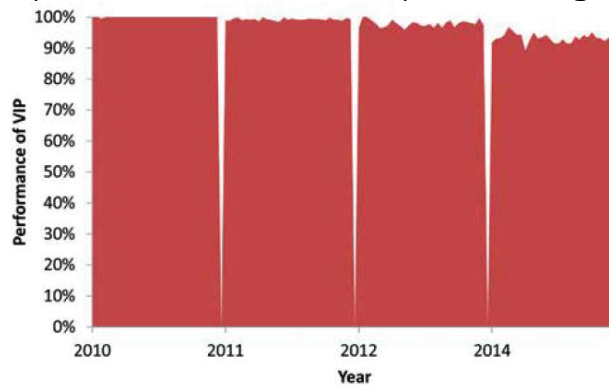
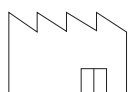
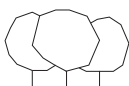
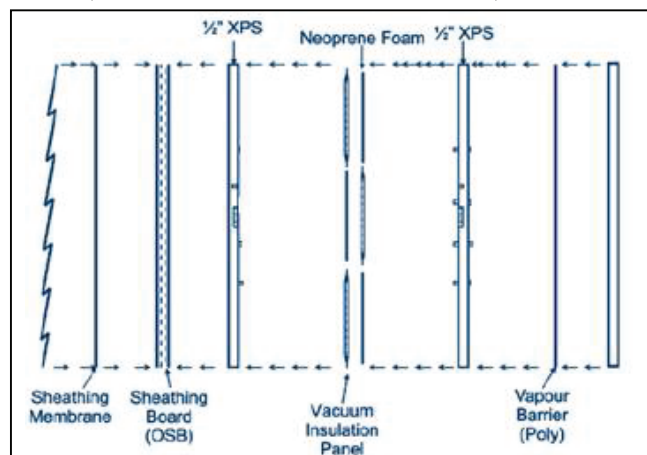


Foto dell'edificio e stratigrafia della parete isolata con i VIP (Fonte: National Research Council).



48



CASO STUDIO f	Reroofed NRC office building
ARCHITETTI	National Research Council (NRC)
COMMITTENTE	National Research Council (NRC)
LUOGO	Campus a Ottawa, Ontario, Canada
ANNO	2011
USO	Edificio destinato al terziario - uffici
INTERVENTO	Progetto di riqualifica
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Pannelli isolanti sottovuoto - Vacuum Insulated Panels (VIP)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Sono stati installati pannelli isolanti sottovuoto per migliorare le prestazioni termiche della copertura dell'edificio. Questa è stata riqualificata con un intervento di sistemazione: la sezione trasversale di questa nuova copertura è composta da cemento, barriera al vapore, strato rigido di poliisocianurato e rivestimento con conglomerato bituminoso. Due pannelli sottovuoto, di 12 mm ciascuno, sono stati installati in modo sfalsato, per ridurre al minimo gli effetti del ponte termico e, unendoli a due strati di poliisocianurato, hanno sostituito i 75 mm che prima erano occupati da un pannello isolante tradizionale.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - Il caso presentato è un esempio extraeuropeo in cui è stata sperimentata la performance dei pannelli sottovuoto (VIP) in un edificio per uffici, e più precisamente in copertura. - L'edificio presenta tre piani, tutti adibiti al terziario. - La figura seguente mostra le prestazioni dei pannelli VIP in funzione del tempo: la prova ha dimostrato che essi non hanno subito una perdita significativa delle loro capacità termo isolanti durante gli anni 2011 - 2013 (Fonte: NRC).

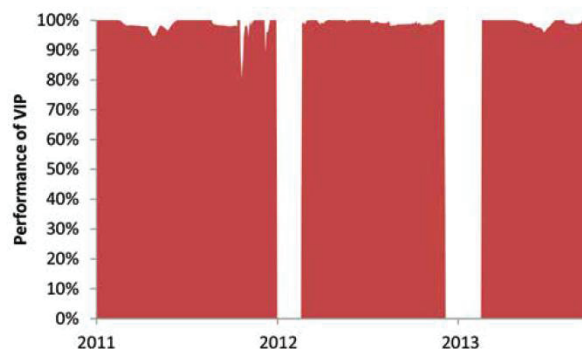
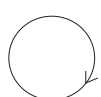
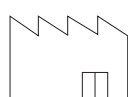
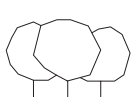
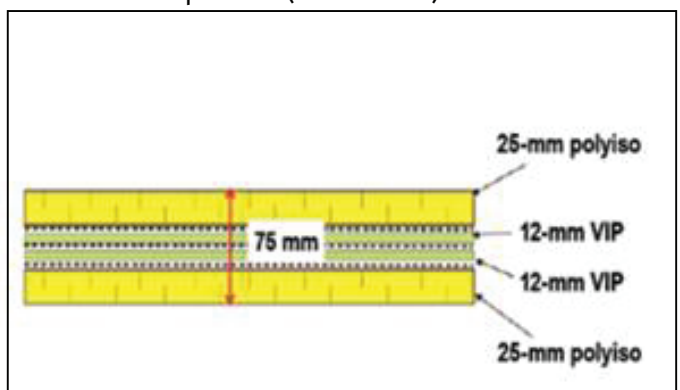


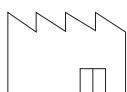
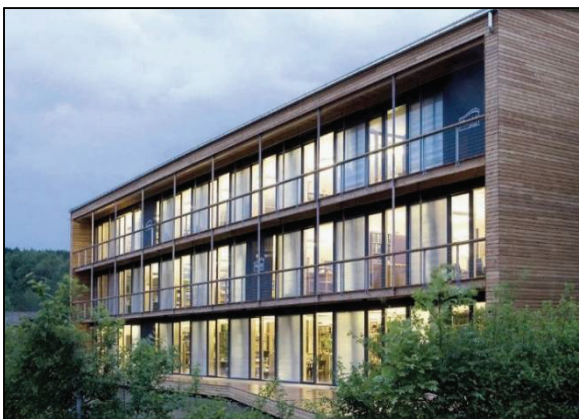
Foto dell'edificio e stratigrafia dell'isolante dopo l'intervento di riqualifica (Fonte: NRC).



3.2.2 Phase-Change Materials: applicazioni

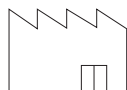
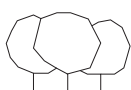
CASO STUDIO a	Marché International Support Office
ARCHITETTI	Beat Kampfen Buro Fur Architektur
COMMITTENTE	Marché Restaurants Schweiz AG - gestore di ristoranti in vari Paesi europei
LUOGO	Kempttahl, nei pressi di Zurigo, Svizzera
ANNO	2007
USO	Edificio destinato al terziario - uffici, Sede amministrativa dell'impresa
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Per avere un isolamento termico molto efficiente anche nelle pareti perimetrali vetrate, sono stati scelti i materiali isolanti PCM. La facciata sud è costituita per metà da vetro trasparente e per metà da GlassX, ossia da vetri con integrati al loro interno i materiali a cambiamento di fase (sali idrati nello specifico). In questo modo, le variazioni della temperatura vengono limitate e il clima all'interno dei locali viene stabilizzato. Inoltre, grazie alla scelta di questa tecnologia innovativa, il consumo complessivo di energia è 10 volte inferiore rispetto ad un edificio ordinario.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - E' il primo edificio per uffici a energia zero in Svizzera: la costruzione è stata certificata da Minergie-P Eco, attualmente lo standard svizzero più rigoroso. - È un edificio amministrativo di tre piani (superficie netta di 1454 mq). - È costituito da una semplice struttura a pianta rettangolare, composta interamente da prefabbricati in legno. - La copertura, piana e ad una sola falda inclinata, grazie alle celle fotovoltaiche e a film sottile presenti su tutta la sua superficie, svolge la funzione di generatore di energia aggiuntiva. - Il fabbisogno energetico dell'edificio è di 7,8 kWh/mq all'anno. - Particolare attenzione è stata data all'efficienza energetica e alla sostenibilità, anche per garantire un ottimo livello di comfort degli spazi interni.

Foto dell'edificio e particolare di un vetro GlassX (1 e 2) e foto con il dettaglio della facciata sud vetrata (3).

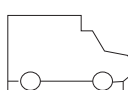


CASO STUDIO b	Green Lighthouse
ARCHITETTI	Christensen & Co Arkitekter
COMMITTENTE	Università danese - Facoltà di Scienze
LUOGO	Copenaghen, Danimarca
ANNO	2008
USO	Edificio destinato al terziario
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Uno degli aspetti innovativi è stata la scelta di un sistema di isolamento termico altamente performante per l'involucro vetrato: sono stati utilizzati materiali a cambiamento di fase (PCM), che, insieme a tutte le altre scelte sostenibili, contribuiscono a rendere questo edificio un ottimo esempio di edilizia sostenibile, a zero emissioni di CO ₂ .
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - E' il primo edificio pubblico a zero emissioni di CO₂ ed è la dimostrazione che il design sostenibile non è la somma di costosi elementi high-tech: in effetti, il 75% della riduzione del consumo di energia è la conseguenza diretta della progettazione architettonica. - Soprannominata la "meridiana" grazie alla sua forma cilindrica e alle persiane orientabili della facciata che consentono alla luce di ruotare attorno, Green Lighthouse possiede un design strutturale atto a ridurre le emissioni di CO₂. - Gli utenti sono i 30 dipendenti e i 50 studenti giornalieri di questa università. - Gli ambienti sono disposti attorno ad un nucleo centrale, che riceve luce attraverso i lucernari. - L'illuminazione naturale è garantita dai lucernari VELUX, dalle finestre e dall'ampio atrio. Inoltre, la diversa intensità del sole è incorporata nel sistema energetico dell'edificio: in estate l'energia solare in eccesso viene raccolta in un magazzino sotterraneo, per utilizzarla in seguito quando il potere del sole è più debole. Oltre alla luce naturale, l'illuminazione aggiuntiva proviene da led, alimentati da una serie di pannelli fotovoltaici posizionati in copertura. - Un'altra tecnologia sostenibile è rappresentata dal sistema di ventilazione: l'aria fresca viene aspirata attraverso i finestrini motorizzati e ventilata attraverso i lucernari per creare un buon comfort interno. - L'edificio ha quindi uno standard molto alto in termini di sostenibilità e ha un'impronta di carbonio bassa; favorisce un ambiente interno salutare per studenti e docenti. Per quanto riguarda i vantaggi effettivamente registrati, Green Lighthouse ha ottenuto 68 punti nella certificazione LEED.

Foto diurna e notturna dell'edificio.



51



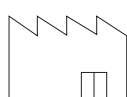
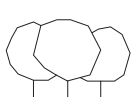
CASO STUDIO c	Floating Pavilion
ARCHITETTI	Deltasync e Public Domain Architects
COMMITTENTI	E' stato finanziato con fondi pubblici
LUOGO	Rotterdam, Porto di Rijnhaven, Danimarca
ANNO	2010
USO	Edificio destinato al terziario - padiglione per mostre ed eventi
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Uno degli aspetti più innovativi e sostenibili del progetto è stato la scelta e l'uso di isolanti a cambiamento di fase: materiali PCM sono stati integrati nel maestoso involucro vetrato, per garantire ottime prestazioni termiche.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- E' il primo prototipo di casa galleggiante attualmente utilizzato per mostre, ed è un progetto pilota verso l'urbanizzazione sull'acqua a Rotterdam: questa città, infatti, vuole ridurre del 50 % le sue emissioni di carbonio e l'idea è quella di costruire una comunità di case galleggianti, adatte ai possibili futuri cambiamenti climatici e ad un possibile innalzamento del livello del mare.</p> <p>- L'edificio si compone di tre sfere interconnesse, ossia tre cupole semitrasparenti dal diametro tra i 18,5 m fino ai 24 m. Presentano un telaio strutturale in acciaio ed un rivestimento in Teflon ETFE, una pellicola completamente riciclabile, che necessita di poca manutenzione e che minimizza le esigenze di supporto delle strutture galleggianti.</p> <p>- Questa struttura leggera si eleva a 12 m di altezza e copre una superficie di 1.330 m².</p> <p>- Il comfort interno è gestito diversamente a seconda dell'uso degli spazi: l'auditorium, la sala riunioni e l'ufficio soddisfano le massime esigenze in materia di riscaldamento e raffreddamento, a differenza dell'area principale di esposizione, che è un'area di transizione tra interno ed esterno. Gli spazi con elevate esigenze sono isolati in modo ottimale e dotati di un innovativo sistema di climatizzazione. L'energia è utilizzata solo dove e quando è necessario. Lo spazio principale dell'esposizione è riscaldato e raffreddato passivamente dal sole e dalla ventilazione naturale.</p>

Foto diurna dall'interno del padiglione e vista notturna delle tre cupole illuminate.



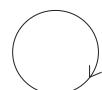
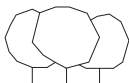
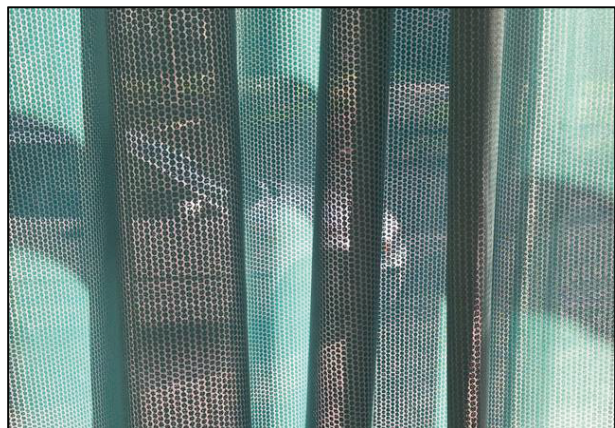
CASO STUDIO d	Icon Innovation Centre
ARCHITETTI	Consarc Architects
COMMITTENTI	Università di Northampton e il Consiglio di Daventry
LUOGO	Daventry, Inghilterra
ANNO	2011
USO	Edificio destinato al terziario - uffici e centro congressi
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM) della ditta DuPont
CAMPO DI APPLICAZIONE	Materiali a cambiamento di fase sono stati integrati nella parete esterna, ossia nell'involucro vetrato, per ottenere ottime prestazioni termiche e migliorare l'efficienza energetica dell'edificio grazie alla capacità di stoccaggio e rilascio del calore. Si tratta di 475 mq di pannelli Energain, prodotti da DuPont: essi agiscono assorbendo il calore dell'ambiente all'aumentare della temperatura (intorno ai 22°), e conservandolo fino a quando la temperatura non cala nuovamente (attorno ai 18 °), per poi quindi rilasciarlo nell'ambiente. Negli edifici con aria condizionata, Energain può ridurre i costi del 35% e contribuisce a ridurre i consumi per il riscaldamento fino al 15%.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - Si tratta della prima applicazione adibita al terziario nel Regno Unito ad utilizzare materiale a cambiamento di fase (PCM) come sistema di isolamento. - L'edificio è in grado di prestarsi alle mutevoli esigenze funzionali e spaziali: comprende uffici flessibili, servizi, sale riunioni, una reception, un ristorante, spazi per conferenze e spazi espositivi flessibili, che possono essere utilizzati dalla comunità locale per eventi e spettacoli. - L'edificio è certificato BREEAM; è un progetto eccellente che utilizza meno di 15 Kg di CO₂ / m²anno e mostra la fattibilità di raggiungere la massima efficienza energetica attraverso la progettazione sostenibile e l'integrazione delle tecnologie che utilizzano fonti di energia rinnovabile. Numerosi sono gli accorgimenti sostenibili presenti: la scelta di un sistema di ventilazione passiva, i sistemi di recupero di calore efficiente e la facciata reattiva Showcase, costruita con legno certificato. Questa proietta rappresentazioni grafiche utilizzando luci a catodo freddo retroilluminate. - A causa della facciata reattiva, vi è un difficile controllo delle variazioni di temperatura, ma per superare questa sfida Consarc ha scelto i pannelli Energain.

Foto diurna e notturna dell'edificio.



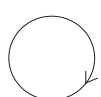
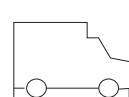
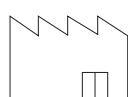
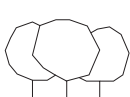
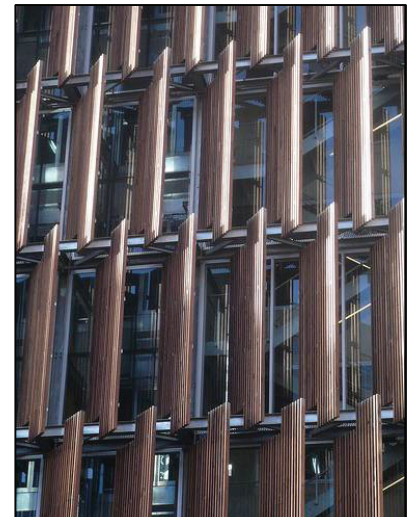
CASO STUDIO e	Smart is Green
ARCHITETTI	Zillerplus Architekten
COMMITTENTI	International Bauausstellung Hamburg (IBA)
LUOGO	Monaco, Germania
ANNO	2011-2013
USO	Edificio destinato a residenza
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Materiali a cambiamento di fase sono stati integrati nei sistemi di oscuramento, sfruttando la capacità di questo isolante innovativo di immagazzinare e poi rilasciare calore all'interno dell'ambiente. Sono state così ideate tende con integrate microcapsule di PCM. Questi oscuranti, installati dietro alle vetrate dell'involucro, assorbono il calore del sole e la liberano durante le ore notturne. Ciò contribuisce a garantire il comfort termico interno, riducendo l'effetto di surriscaldamento nella stagione più calda e smorzando i picchi di temperature sia in estate che in inverno.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- E' uno dei primi esempi in cui è stato scelto e applicato il sistema di isolamento Phase Change Materials in ambito residenziale. Grazie ad un'attenta progettazione, che comprende elementi attivi e strategie passive, Smart is green si pone come uno dei prototipi con più elementi innovativi e tecnologici realizzati per IBA 2013.</p> <p>- La residenza ospita 14 appartamenti, disposti su 5 piani e che presentano layout flessibili, adatti per coppie, single e famiglie in situazioni di vita mutevoli: le planimetrie, infatti, possono essere configurate e adattate alle esigenze individuali degli abitanti.</p> <p>- L'involucro esterno è costituito da tre strati: un giardino verticale, che agisce da scudo termico durante la stagione calda, vetri isolanti, che proteggono l'ambiente interno sia dal caldo che dal freddo, e uno strato costituito da PCM, che funziona come "tasca scaldante".</p> <p>- Sistemi attivi di moduli fotovoltaici e solari termici sono stati integrati nelle chiusure verticali, in copertura e nei parapetti. Il surplus di energia derivante dall'impianto solare viene utilizzato per alimentare il riscaldamento a pavimento o immesso nella rete, assicurando così una fornitura costante di energia nei periodi invernali.</p>

Foto dell'edificio e dettaglio del sistema oscurante.



CASO STUDIO f	Council House 2
ARCHITETTI	DesignInc Melbourne e Mick Pearce
COMMITTENTI	E' stato finanziato con fondi pubblici
LUOGO	Melbourne, Australia
ANNO	2006
USO	Edificio destinato a residenze e al terziario
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Materiali isolanti a cambiamento di fase - Phase Change Materials (PCM)
CAMPO DI APPLICAZIONE	Materiali a cambiamento di fase sono stati usati per le travi e i pannelli refrigerati dell'involucro, che hanno la funzione di raffreddare l'acqua che corre in essi, creando quindi un sistema di raffreddamento radiante.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- Melbourne mira a raggiungere la soglia delle zero emissioni entro il 2020. Un importante contributo a questa strategia è la riduzione del 50% del consumo energetico negli edifici commerciali e il caso preso in analisi è stato sperimentato come prototipo di edificio passivo.</p> <p>- L'edificio fornisce aria fresca al 100%, con un ricambio d'aria ogni mezz'ora che consente una migliore qualità dell'aria interna e la conservazione dei costi energetici. Nello specifico, vi è un sistema di raffreddamento radiante: l'acqua refrigerata viene fatta scorrere attraverso le travi e i pannelli del soffitto, che raffreddano l'aria calda in aumento, creando così una corrente naturale di convezione.</p> <p>- Per quanto concerne la scelta di materiali, i solai sono realizzati in calcestruzzo prefabbricato, con una forma "ondulata", che consente all'aria riscaldata di essere raccolta all'altezza del soffitto e poi convogliata fuori dall'edificio. Per quanto riguarda l'involucro, la facciata est presenta un sistema metallico forato per ombreggiature, che funge anche da camino termico. Il calore sale sollevando l'aria attraverso la parte orientale dell'edificio, permettendo così di essere ventilato naturalmente. La facciata nord è composta da tralici in acciaio e balconi che sostengono giardini verticali, con fogliame che protegge l'edificio dal sole e filtra anche la luce solare per una riduzione dei riflessi interni. La facciata ovest è coperta da un sistema di persiane in legno riciclato, co lamelle mobili e movimentate da un sistema idraulico controllato da un computer.</p>

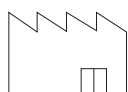
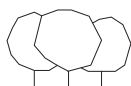
Foto dell'edificio.



3.2.3 Isolanti Termoriflettenti stratificati applicazioni

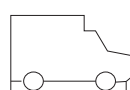
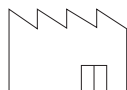
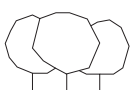
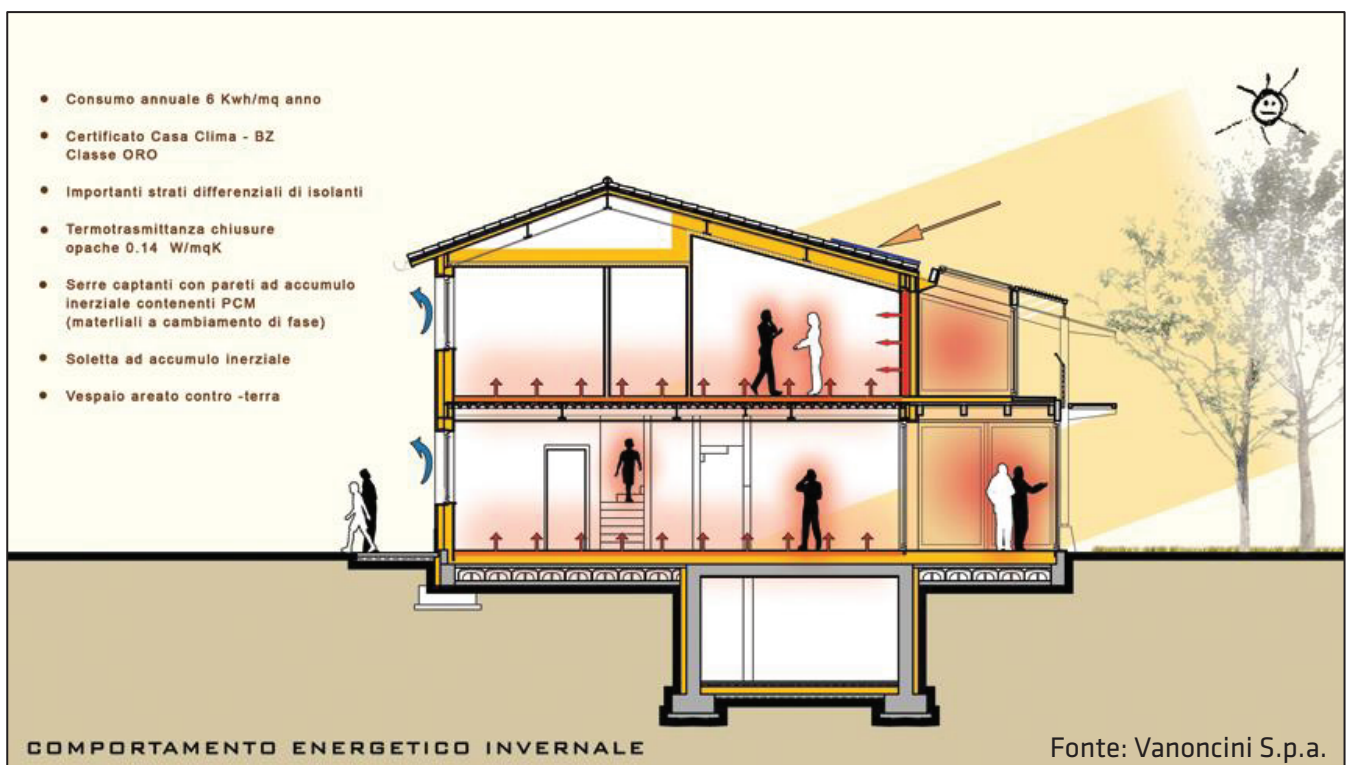
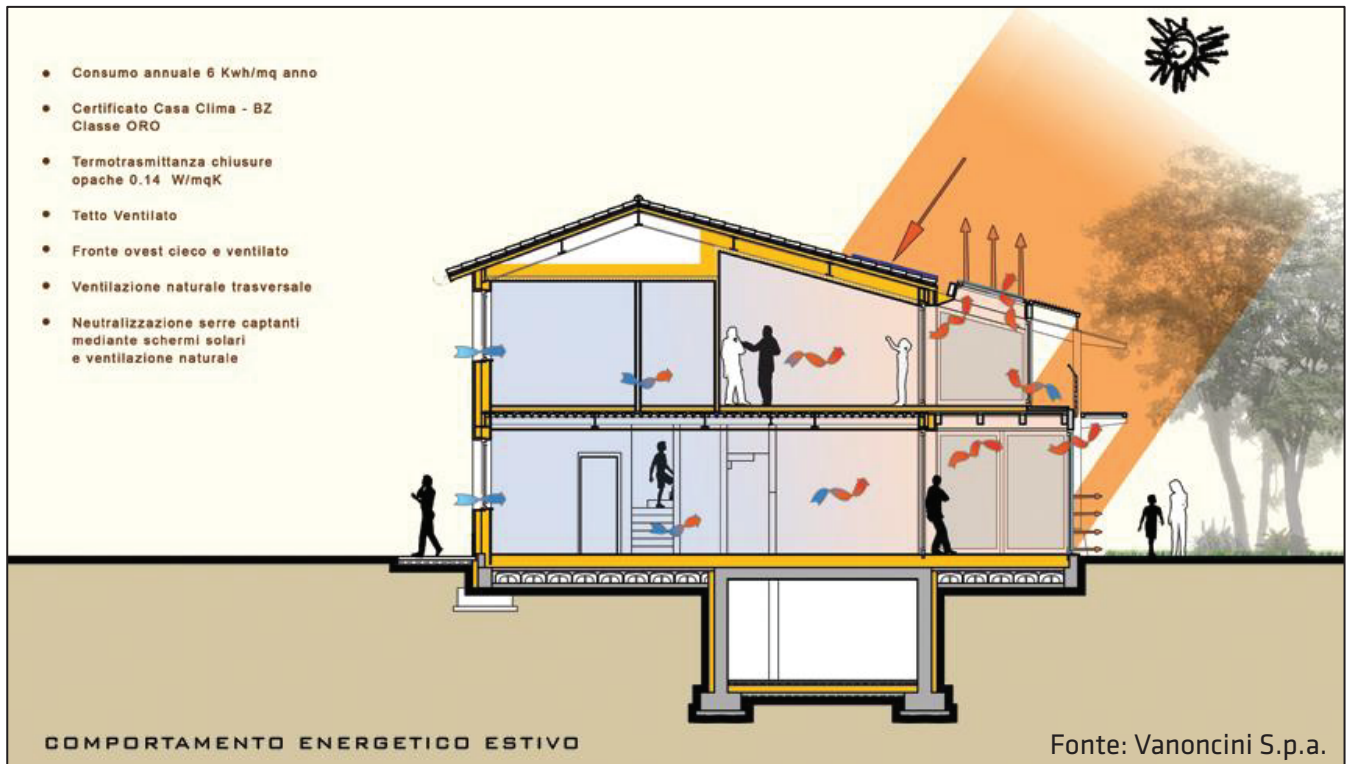
CASO STUDIO a	CasaClima Lombardia
ARCHITETTI	Atelier 2
COMMITTENTE	Vanoncini S.p.a. - Impresa edile e rivenditore di materiali, specialista nella tecnica costruttiva a secco e nei sistemi di isolamento innovativi
LUOGO	Colognola, Bergamo
ANNO	2006-2008
USO	Edificio destinato a residenza
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis
CAMPO DI APPLICAZIONE	Per avere un isolamento termico molto efficiente sono stati scelti materiali isolanti termoriflettenti stratificati, applicati sulla parete sud-ovest dell'edificio, confinante con la serra.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - Si tratta del primo edificio in Lombardia rispettoso dei parametri di CasaClima Classe Oro, che ha vinto il primo premio, nella sezione progetti residenziali, nel Concorso bandito nell'ambito della campagna europea "Sustainable Energy Europe" dal Comune di Lodi e dalla rivista "Costruire". - L'edificio è un modello per altre costruzioni che hanno le stesse ambizioni in materia di risparmio energetico, e che al contempo hanno prezzi accessibili. - Nelle pareti che separano le serre (sud) dagli ambienti interni (sviluppati su due piani), la porzione vetrata è ridotta, e nella chiusura opaca sono state scelte lastre in gesso rivestito Smartboard Knauf, con all'interno microcapsule Basf Micronal, ossia materiali a cambiamento di fase. La parete è un elemento captante in inverno, e termo-ritardante in estate. Quindi, oltre ai pannelli termoriflettenti, sono stati applicati anche altri isolanti innovativi, i PCM. - Il progetto strutturale è stato eseguito dallo Studio di Ingegneria Imperadori di Darfo B.T. (BS). La tecnologia costruttiva utilizzata per tutto l'edificio fuori terra è il sistema a secco Struttura e Rivestimento S/R, ossia sono stati creati dei telai portanti e travi in acciaio, mentre per le parti interrate è stato scelto il cemento armato. Il legno è stato utilizzato per le logge situate a sud-ovest. - L'involucro esterno è costituito da una doppia struttura leggera: un rivestimento interno ed uno esterno. - Il consumo annuale è di circa 6 KWh/mq anno.

Foto dell'edificio.



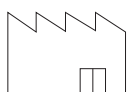
56





CASO STUDIO b	Residenza Ferrari
ARCHITETTO	Arch. Randazzo
COMMITTENTE	Vanoncini S.p.a. - Impresa edile e rivenditore di materiali, specialista nella tecnica costruttiva a secco e nei sistemi di isolamento innovativi
LUOGO	Caprino Bergamasco, Bergamo
ANNO	2009-2010
USO	Ex cascina abbandonata, destinata a nuove residenze
INTERVENTO	Progetto di riqualifica
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis
CAMPO DI APPLICAZIONE	Rotoli isolanti termoriflettenti stratificati sono stati applicati sulle pareti esterne dell'edificio, creando un cappotto interno.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- L'edificio è stato ristrutturato dopo un periodo di completo abbandono: si tratta di una vecchia cascina in pietra, con alcuni ambienti che risalivano al 1700.</p> <p>È stata eseguita una ristrutturazione completa del fabbricato e la realizzazione di autorimesse pertinenziali interrato, con l'obiettivo di ricavare appartamenti performanti dal punto di vista energetico.</p> <p>- La tecnologia costruttiva scelta dall'impresa Vanoncini è stata quella del sistema pietra su pietra, per ripristinare le vecchie murature, mentre il sistema cassero e riempimento in calcestruzzo armato è stato optato per i consolidamenti statici.</p> <p>Infine, il sistema struttura e rivestimento S/R, con travi in acciaio, invece, è stato scelto per le coperture, i solai e per involucro.</p> <p>- Per la nuova copertura in legno, i nuovi solai lignei e tutto l'involucro interno è stata usata la tecnologia Struttura e Rivestimento S/R, che ha consentito di raggiungere la Classe B.</p> <p>- Inoltre, sono stati installati nuovi impianti, elettrici e termosanitari, per allestire un ambiente moderno e confortevole, pur mantenendo il legame con i caratteri locali rustici.</p>

Foto prima e dopo la ristrutturazione e particolare del cappotto con termoriflettenti.

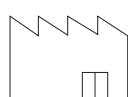
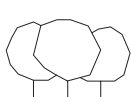


58



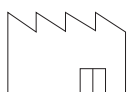
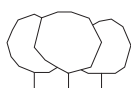
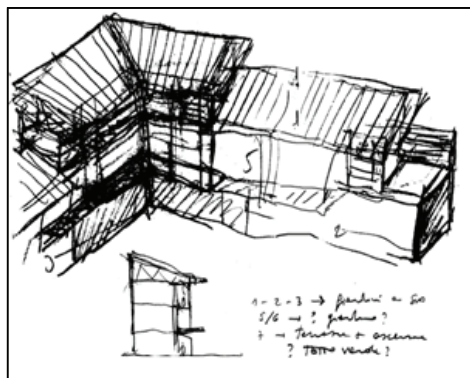
CASO STUDIO c	Nuova Sede Eramo Paolo
ARCHITETTI	Eramo Legno System
COMMITTENTE	Eramo Legno System
LUOGO	L'Aquila
ANNO	2011
USO	Edificio destinato al terziario - Nuova Sede della Eramo Legno System, produttore di manufatti in legno
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis e forniti dal Gruppo Manisi di Macerata, specializzata nella proposta di soluzioni per l'involucro degli edifici.
CAMPO DI APPLICAZIONE	Rotoli isolanti termoriflettenti stratificati sono stati applicati sulle solette e sulle pareti esterne dell'edificio, creando un cappotto esterno. I film riflettenti, che rappresentano i vari strati di questi isolanti sottili, hanno la funzione di riflettere l'irraggiamento termico. La trasmissione del calore mediante irraggiamento costituisce una notevole parte (dal 65 al 80%) del calore disperso attraverso le pareti perimetrali e la copertura in inverno. In estate, la percentuale di calore trasmesso per radiazione da una copertura all'abitazione sottostante può raggiungere il 93 % del totale. Proprio su questa componente della fisica termica delle costruzioni intervengono le capacità isolanti termoriflettenti.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<ul style="list-style-type: none"> - L'intervento, finalizzato ad aumentare le aree dedicate al magazzino prodotti e alla vendita (disposte su due piani), è l'esempio di un evoluto sistema costruttivo basato sull'impiego combinato di elementi strutturali in legno X-Lam (ossia pannelli di legno massiccio a strati) e prodotti isolanti termoacustici termoriflettenti. - Rispetto alla domanda energetica di un equivalente edificio costruito con tecniche tradizionali, il caso analizzato garantisce una notevole riduzione del fabbisogno termico complessivo. La certificazione in Classe A ottenuta dall'involucro edilizio garantisce i suoi rilevanti risparmi energetici.

Foto di cantiere dell'edificio, del cappotto e delle solette isolate con termoriflettenti Actis.



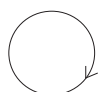
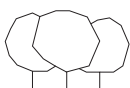
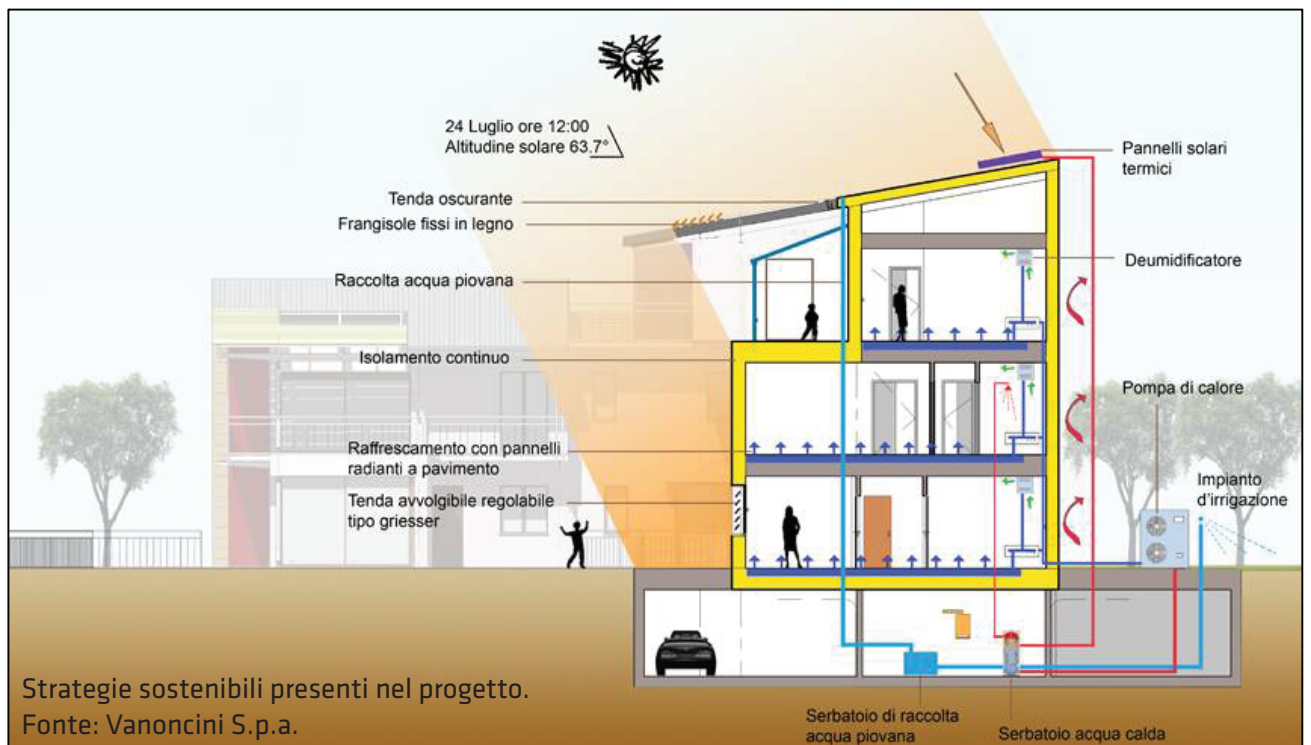
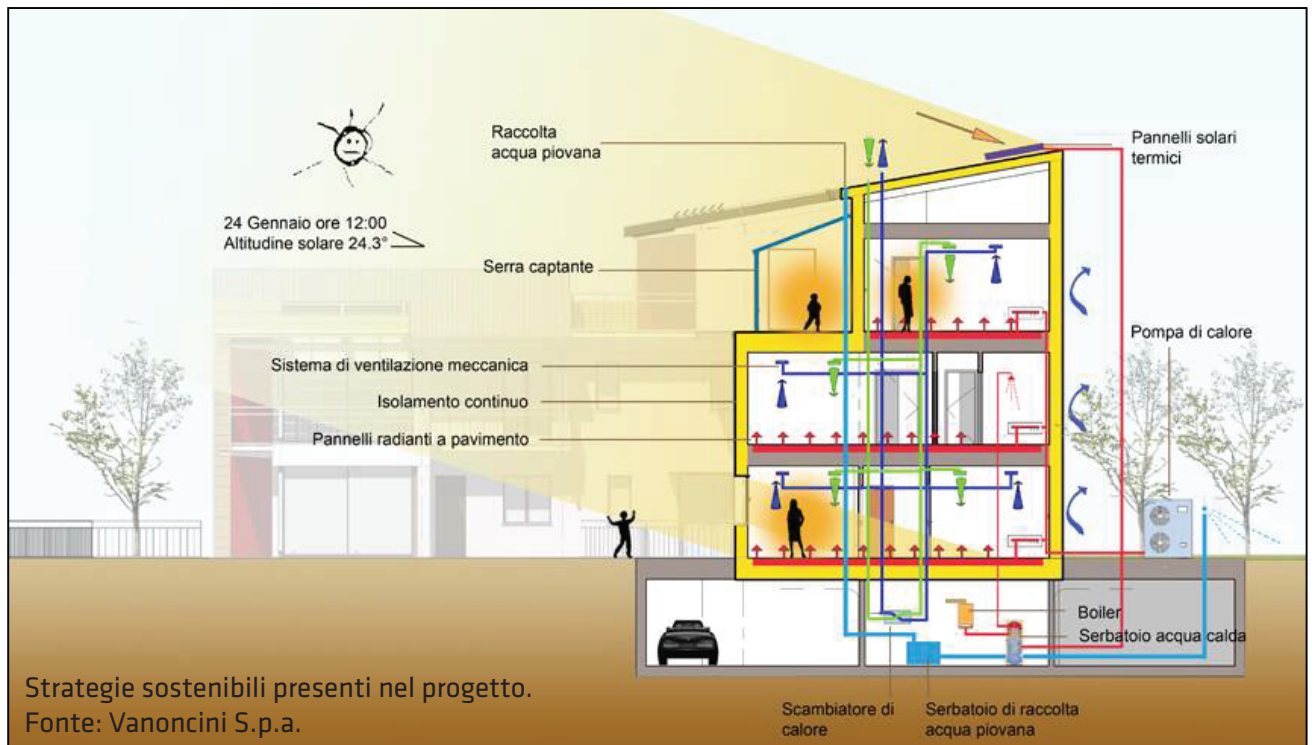
CASO STUDIO d	La Corte del Futuro
ARCHITETTI	Atelier 2 con l'aiuto di Gallotti e Imperadori
COMMITTENTE	Vanoncini S.p.a. - Impresa edile e rivenditore di materiali, specialista nella tecnica costruttiva a secco e nei sistemi di isolamento innovativi
LUOGO	Torre Boldone, Bergamo
ANNO	2011
USO	Edifici destinati a residenze
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis
CAMPO DI APPLICAZIONE	Per l'involucro verticale è stata utilizzata una tecnologia costruttiva stratificata a secco: una doppia struttura portante in acciaio-aluzinc, rivestita all'interno da due lastre di gesso rivestito, mentre all'esterno è completata da una lastra di fibrocemento. All'interno dell'orditura metallica sono inseriti materiali isolanti di vario spessore e densità, tra cui poliestere e iperisolanti stratificati Actis.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- L'obiettivo è stato quello di concretizzare le direttive emanate dalla Provincia di Bergamo, in materia di risparmio energetico, secondo il Protocollo Casa Clima: è stato progettato un complesso energeticamente efficiente, che rispetta i parametri di Casa Clima Classe A, con un consumo energetico di 15 KWh/ mq per anno, e in classe A+ CENED con un consumo energetico annuo di 10 KWh/mq.</p> <p>La ricerca tecnologica e costruttiva ha dunque permesso di ridurre al minimo l'impatto ambientale, privilegiando anche l'uso di materiali riciclati e riciclabili.</p> <p>- Il complesso è composto da sette unità abitative, con giardini privati, terrazze e serre bioclimatiche ai piani superiori. Il progetto si ispira alle cascate bergamasche: si privilegiano i loggiati che, come nelle corti di un tempo, diventano spazi comuni. La pianta è ad "L", con le funzioni disposte attorno ad una corte orientata a sud-est, verso i giardini privati.</p> <p>- La struttura portante fuori terra è stata realizzata con tecnica mista acciaio-cemento per gli impalcati, mentre i tamponamenti esterni e l'involucro interno sono stati sviluppati con tecnologie a secco Knauf.</p> <p>- Il sistema di produzione di calore e acqua calda sanitaria è centralizzato, ed è costituito da una pompa di calore, garantita al 50% dall'impianto a pannelli solari termici. La climatizzazione invernale, invece, è assicurata da un impianto radiante a pavimento.</p> <p>- Le serre bioclimatiche a sud ed est captano l'energia solare nella stagione invernale, in modo da favorire l'accumulo dei guadagni solari, e garantire una minore dispersione termica dell'involucro. Le stesse serre, disattivate nel periodo estivo tramite schermature, limitano, il surriscaldamento degli ambienti.</p>

Schizzo di progetto e foto del complesso residenziale.



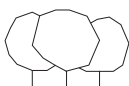
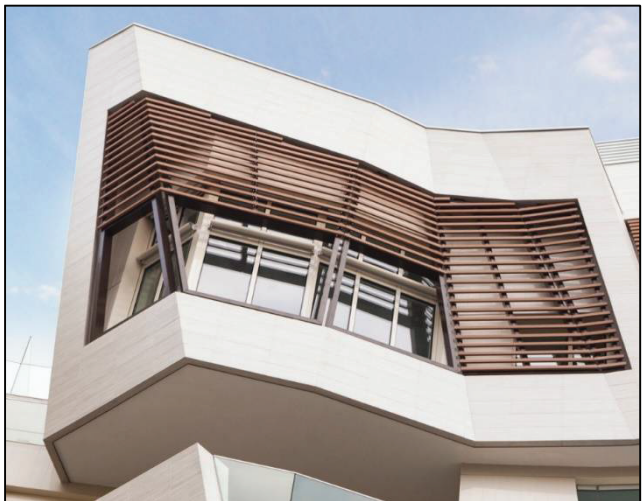
60





CASO STUDIO e	City Life - Complesso residenziale di Zaha Hadid
ARCHITETTI	Zaha Hadid Architects
COMMITTENTE	Comune di Milano
LUOGO	Milano
ANNO	2014
USO	Edifici destinati a residenze
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis
CAMPO DI APPLICAZIONE	La tecnologia utilizzata per la realizzazione dell'isolamento degli spazi interni, per le contropareti perimetrali e per i controsoffitti, è stata quella degli isolanti termoriflettenti stratificati.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- CityLife è il progetto di riqualificazione del quartiere della Fiera Campionaria a Milano che prevede: un parco, un Museo di Arte Contemporanea, aree di edilizia residenziale (progettate anche da A. Isozaki e D. Libeskind), tre torri dedicate a funzioni commerciali, parcheggi, un percorso ciclopedonale e il passaggio della linea metropolitana 5 con una fermata nel cuore dell'area.</p> <p>- Nello specifico, le residenze sinuose di Zaha Hadid sono sette edifici sinuosi che si affacciano sul parco e sono suddivisi in due aree (225 appartamenti). L'aspetto rilevante è che sono promotrici di un'ottica sostenibile: sono tutte in classe A, utilizzano fonti di energia rinnovabili, presentano pannelli fotovoltaici in copertura.</p> <p>- Il sistema di facciata presenta una tripla pelle ed ha uno schema modulare con diverse configurazioni visive e opache, che combinate assieme formano le geometrie composte del progetto. Come prima pelle vi sono moduli fissi o apribili, con vetrocamera basso emissivi e isolamento acustico. La seconda pelle, invece, è costituita da un sistema oscurante avvolgibile con telo in profili di alluminio estruso.</p> <p>Infine, come ultima pelle, troviamo il rivestimento ventilato esterno in pannellature modulari in tre diverse tipologie: pannelli in alluminio, in legno o pannelli combo, formati da una superficie in alluminio verniciato accostata ad una superficie in doghe di cedro.</p>

Foto del complesso residenziale e dettaglio del sistema oscurante.

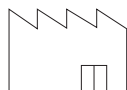
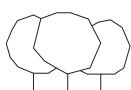
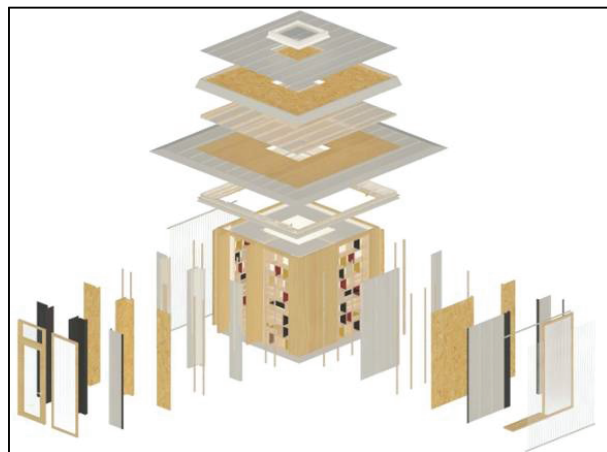


62



CASO STUDIO f	C-ASA progetto sperimentale - Costruzione ASA
ARCHITETTI	Atelier2-Gallotti e Imperadori Associati
COMMITTENTE	Politecnico di Lecco
LUOGO	Politecnico di Lecco, Lecco
ANNO	2015
USO	Edificio sperimentale destinato al terziario - ufficio/spazio per lo studio
INTERVENTO	Nuova costruzione
ISOLANTE ULTRAPERFORMANTE	Isolanti termoriflettenti - prodotti dalla Ditta Actis
CAMPO DI APPLICAZIONE	L'edificio presenta un involucro con lastre in zinco-titanio. L'isolamento termico è stato ottenuto grazie all'utilizzo di isolanti termoriflettenti stratificati e lastre in gesso rivestito. Questi iperisolanti sono stati applicati anche in copertura.
IL PROGETTO - INFORMAZIONI GENERALI	<p>- Progettato nel suo concept architettonico embrionale nel corso del workshop Advanced School of Architecture (ASA), C-ASA è un involucro edilizio modulare, pensato per accogliere spazi comuni dedicati allo studio, oppure per piccoli uffici informazioni o punti - vendita. Un'unità abitativa semplice ed essenziale, ma anche molto confortevole: un punto di congiunzione tra sostenibilità, comfort abitativo e progettazione tecnologica.</p> <p>- Il disegno nasce dalla figura geometrica del cubo. La struttura nuda, in setti di legno X-LAM, misura 3.35×3.35×3.35 m, in modo da garantire una superficie netta interna di 12.5 mq.</p> <p>- La disposizione delle aperture (con infissi in legno) è studiata per garantire una scansione di facciata regolare, in cui pieni e vuoti si ripetono in egual misura, favorendo l'ottimizzazione ergotecnica del progetto. Questa regolarità è creata dal rivestimento in lastre di zinco-titanio.</p> <p>- La stratigrafia della copertura, dall'interno all'esterno, è la seguente: lastre in gesso rivestito, controsoffitto con impianti, strato di isolamento termico termoriflettente (12 mm), struttura portante in X-LAM, strato di isolante termoriflettente (24 mm), assito in pannelli, impermeabilizzante e rivestimento in lastre di zinco-titanio.</p> <p>- Il comfort acustico è il risultato dell'utilizzo di apposite lastre forate fonoassorbenti.</p>

Foto e spaccato assonometrico di tutto il modulo edilizio preso in analisi.



3.3 LA PRODUZIONE DI MATERIALI ULTRAPERFORMANTI NEL MERCATO ATTUALE

Dopo aver raccolto le informazioni riguardanti i casi studio, concentrandoci su:

- architetti
- committenti
- luogo del progetto
- anno
- uso (edificio residenziale o per il terziario)
- intervento (nuova costruzione o riqualifica)
- tipo di isolante innovativo utilizzato
- campo di applicazione
- informazioni generali relative al progetto,

viene riportato, nelle prossime pagine, il censimento delle principali ditte produttrici di: pannelli isolanti sottovuoto (VIP), materiali a cambiamento di fase (PCM - sia i produttori di microcapsule di paraffina/sali idrati, inserite in pannelli di cartongesso o gesso, che i produttori di microcapsule integrate in altri materiali come vetro, legno, plexiglass e intonaco) e, infine, isolanti termoriflettenti stratificati.

Nelle tre tabelle seguenti, una per ognuno dei tre sistemi di isolamento innovativo presi in analisi, sono stati specificati per ogni ditta: la posizione, considerando la sede centrale di produzione e tralasciando gli impianti secondari e i rivenditori, la tipologia di prodotti, le EPD¹ (Dichiarazioni ambientali di prodotto fornite dai produttori) ed un confronto economico a parità di spessore per i prodotti presi in esame.

Nello specifico, i dati presenti in ogni tabella (si vedano le prossime 3 pagine) sono:

- Ditta produttrice
- luogo - sede della Ditta
- Stato
- Continente
- tipologia di prodotto (solo per i PCM)
- nome del prodotto
- informazioni - ossia se vi è un'EPD e la scheda tecnica
- dimensioni del prodotto
- costo del prodotto (euro)
- costo del prodotto (euro/mq)
- costo a parità di prestazione

L'analisi si è concentrata quasi esclusivamente in Europa, eccetto che per Hanita Coatings, un'importante ditta che produce VIP a Israele, e Insolcorp, famosa produttrice di PCM a Las Vegas. I due casi sono stati presentati per mostrare che nei territori extraeuropei ci sono produttori di materiali isolanti di questo tipo, ma spesso non vi sono abbastanza informazioni a riguardo o documentazione affidabile.

Ogni ditta che è stata elencata produce uno o più prodotti isolanti di nuova generazione, dei quali abbiamo cercato di raccogliere dati tecnici e, ove possibile, dichiarazioni ambientali di prodotto. A questo proposito, abbiamo notato la quasi assenza di informazioni riguardanti le EPD soprattutto per i Phase Change Materials (PCM); invece sono state raccolte, quasi in tutti i casi, le schede tecniche di prodotto e, successivamente, sono state fornite analisi/confronti sia in termini prestazionali, che in termini economici ed ambientali.

Nello specifico, per i materiali a cambiamento di fase è stata specificata nelle tabelle la tipologia di prodotto, ossia se si tratta di un pannello, oppure di microcapsule di PCM integrate in una lastra di vetro o nell'intonaco o in altri materiali.

Infine, nelle ultime colonne di tutte e tre le tabelle sono stati evidenziati, ove possibile, i costi dei materiali, basandosi prevalentemente sui listini prezzi forniti dalle ditte stesse o fornite dai maggiori rivenditori di questi prodotti.

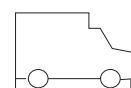
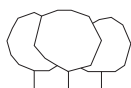
¹ Environmental Product Declaration (EPD), è una Dichiarazione Ambientale di prodotto, ossia un documento verificato e registrato che comunica informazioni trasparenti sugli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita di un prodotto.



VACUUM INSULATED PANELS										
Ditta	Luogo	Stato	Continente	Prodotto	Informazioni	Dimensione prodotto (m)	Costo prodotto (€)	Costo prodotto €/mq	Costo prodotto (€/mq) a parità di prestazione*	
Dow Corning Corporation	SENEFFE	BELGIO	EUROPA	Dow Corning	Scheda tecnica	1,2*0,5*0,04	180	300	225	
Porextherm	KEMPTEN	GERMANIA	EUROPA	Vacupor	Scheda tecnica	1,2*0,5*0,04	90	150	112,5	
VacuVisotec KG	RADEBERG	GERMANIA	EUROPA	Front VIP	Scheda tecnica	s = 0,040				
				Base VIP	Scheda tecnica	s = 0,023				
				Ultra VIP	Scheda tecnica	s = 0,068				
				Pure VIP	Scheda tecnica	s = 0,02				
				Sito VIP	Scheda tecnica	s = 0,028				
				Save VIP	Scheda tecnica	s = 0,023				
Vaku Isotherm	FRANKENBERG	GERMANIA	EUROPA	Gum 1	Scheda tecnica	s = 0,04				
				B2	Scheda tecnica	1*0,6*0,04	155	258	193,5	
VaQtec	WURZBURG	GERMANIA	EUROPA	va-Q-vip B	Scheda tecnica	1*1*0,04	200	200	150	
				va-Q-vip F	Scheda tecnica	1*1*0,04	200	200	150	
Kingspan	IBBENBUREN	GERMANIA	EUROPA	OPTIM-R	Scheda tecnica	1,2*0,6*0,04	180	250	187,5	
Befire	DESIO, MONZA BRIANZA	ITALIA	EUROPA	Vacunanex	Scheda tecnica	1*0,6*0,04	142	237	177,75	
				Aeronanex H2O	Scheda tecnica	1,2*3*0,04	1'217	338	253,5	
				Aeronanex Dry	Scheda tecnica	1,2*3*0,04	1'825	507	380,25	
Bauder	EGNA, BOLZANO	ITALIA	EUROPA	BauderVIP TE	Scheda tecnica	1*1*0,04	260	260	195	
				VIP TE Spezial	Scheda tecnica	1*1*0,04	285	285	213,75	
Variotec	BOLZANO	ITALIA	EUROPA	Qasa B1	Scheda tecnica	1*0,6*0,04	140	233	174,75	
Turvac	SOSTANJ	SLOVENIA	EUROPA	Turvac Si	Scheda tecnica	s = 0,035				
Hanita Coatings	HANITA	ISRAELE	ASIA	VO7522	Scheda tecnica	s = 0,030				
							MEDIA €/mq	268,17	201,13	
							MEDIANA €/mq	254,00	199,14	

Tabella 2: Censimento dei Produttori di VIP

*N.B.: i prezzi di VIP e Termoriflettenti sono stati confrontati a parità di prestazione; 1 mq di VIP dello spessore di 3,6 cm equivale a 1 mq di termoriflettente dello spessore di 3,0 cm (entrambi equivalenti a 1 mq di lana di roccia spesso 19 cm).



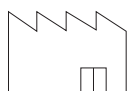
PHASE CHANGE MATERIALS										
Ditta	Luogo	Stato	Continente	Tipologia	Prodotto	Informazioni	Spessore materiale (m)	Costo prodotto (€)	Unità di misura	Costo prodotto €/mq
BASF	LUDWIGSHAFEN	GERMANIA	EUROPA	Intonaco	Micronal PCM	Scheda tecnica	0,015			
DuPont (Fuori produzione dal 2014)	CERNUSCO SUL NAVIGLIO	ITALIA	EUROPA	Pannello	Energain	Scheda tecnica	0,0052	75	mq	75
GlassX	ZURIGO	SVIZZERA	EUROPA	Vetro	GlassX store	Scheda tecnica	0,038	400	mq	400
Knauf (Fuori produzione dal 2015)	IPHOFEN	GERMANIA	EUROPA	Vetro	GlassX crystal	Scheda tecnica	0,079	500	mq	500
Rigips	STANDORTE	AUSTRIA	EUROPA	Pannello	ComfortBoard	Scheda tecnica	0,015			
Insolcorp	LAS VEGAS	USA	AMERICA	Pannello	PCM Smartboard 23	Scheda tecnica	0,015	200	mq	200
				Rotolo	Alba Balance	Scheda tecnica	0,025			
					INFINITE R	Scheda tecnica	0,006			
									MEDIA €/mq	293,75
									MEDIANA €/mq	300,00

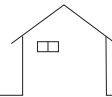
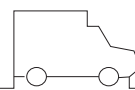
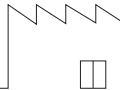
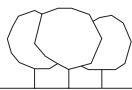
Tabella 3: Censimento dei Produttori di PCM

N.B.: solo per i PCM, è stata specificata nelle tabelle la tipologia di prodotto, ossia se si tratta di un pannello, oppure di microcapsule di PCM integrate in una lastra di vetro o nell'intonaco o in altri materiali.

Nella pagina accanto, Tabella 4: Censimento dei Produttori di Termoriflettenti

*N.B.: i prezzi di VIP e Termoriflettenti sono stati confrontati a parità di prestazione; 1 mq di VIP dello spessore di 3,6 cm equivale a 1 mq di termoriflettente dello spessore di 3,0 cm (entrambi equivalenti a 1 mq di lana di roccia spesso 19 cm).





ISOLANTI TERMORIFLETTENTI										
Ditta	Luogo	Stato	Continente	Prodotto	Informazioni	Spessore (m) materiale	Costo (€) prodotto	Unità di misura	Costo €/mq	Costo a parità di prestazione (€/mq)*
Rexor	PALADRU	FRANCIA	EUROPA	Rexotherm	Scheda tecnica	0,028				
Actis	LIMOUX	FRANCIA	EUROPA	Actis Triso Super 10	Scheda tecnica	0,03	23	mq	23,00	23,00
				Actis Triso Laine	Scheda tecnica	0,024	27,5	mq	27,50	18,40
				Boost Hybrid	Scheda tecnica	0,04	24	mq	24,00	30,67
				Actiso Triso Sols	Scheda tecnica	0,007	17,6	mq	17,60	5,37
				Actis Triso Murs+	Scheda tecnica	0,012	16,15	mq	16,15	9,20
PEG	VARNEVILLE	FRANCIA	EUROPA	Multicouche 5C	Scheda tecnica	0,02				
				Multicouche 23C	Scheda tecnica	0,025				
				Tisoléco	Scheda tecnica	0,03				
ALUthermo	GALHAUSEN	BELGIO	EUROPA	Optima	Scheda tecnica	0,042	18,9	mq	18,90	32,20
				Densima	Scheda tecnica	0,037	16,5	mq	16,50	28,37
				RoofReflex	Scheda tecnica	0,037	15,2	mq	15,20	28,37
				Double Reflective	Scheda tecnica	0,03				
Reflectix	MARKLEVILLE	USA	AMERICA	Gold	Scheda tecnica	0,035				
				Silver	Scheda tecnica	0,035				
TLX	BOLTON	REGNO UNITO	EUROPA	Polytherm 7L	Scheda tecnica	0,03	10,4	mq	10,40	10,40
				Polytherm 5L	Scheda tecnica	0,02	9,3	mq	9,30	15,33
				Polytherm 3L	Scheda tecnica	0,01	7,8	mq	7,80	7,67
				Polynum BIG	Scheda tecnica	0,008	10	mq	10,00	6,13
				Polynum ULTRA	Scheda tecnica	0,016				
Decorus	LIVORNO	ITALIA	EUROPA	Polynum MULTI	Scheda tecnica	0,009				
				Polynum SUPER	Scheda tecnica	0,004				
				Over-foil 2L-2	Scheda tecnica	0,0065	7,8	mq	7,80	4,98
				Over-foil 311	Scheda tecnica	0,009	11,7	mq	11,70	6,90
				Over-foil multistato 19	Scheda tecnica	0,04	27	mq	27,00	30,67
Over-All	MILANO	ITALIA	EUROPA	IsoAll	Scheda tecnica	0,02				
				IsoPlus/ IsoBasic	Scheda tecnica					
				IsoWall/ IsoRoof	Scheda tecnica	0,008				
IsoPack S.R.L.	BARI	ITALIA	EUROPA	Isolmant Polimuro Reflex	Scheda tecnica	0,005	15,5	mq	15,50	3,83
Isolmant	MILANO	ITALIA	EUROPA							
								MEDIA €/mq	16,15	16,34
								MEDIANA €/mq	15,83	12,87

Di seguito, sono stati riportati tre esempi di produttori presenti nel mercato attuale, uno per ciascuna delle tre tipologie di isolante analizzate, VIP, PCM e materiali Termoriflettenti stratificati, ossia le Ditte Befire, Rigips e ACTIS. Abbiamo scelto proprio queste tre ditte, partendo dall'elenco censito nelle tre tabelle precedenti, per mantenerci nel panorama europeo, presentando così un esempio tedesco, uno austriaco ed uno francese. Inoltre, questi sono i produttori che hanno fornito le maggiori informazioni riguardo la propria ditta e i relativi prodotti. Per ognuna è stato scelto e presentato uno dei suoi prodotti (la scelta ricade su quei pannelli che hanno più informazioni, schede tecniche e, ove possibile, un'EPD).

3.3.1 La ditta Porextherm e i suoi prodotti VIP: il pannello Vacupor

La Porextherm, una ditta tedesca di Kempten (Germania), è uno dei maggiori fornitori al mondo di materiali isolanti microporosi ad alte prestazioni, basati su polvere di silice altamente dispersa, dunque è uno dei maggiori produttori mondiali di VIP. Rispetto ad altre ditte riportate nel censimento, questa si occupa principalmente di un'unica tipologia di VIP, il pannello Vacupor, disponibile in spessori diversi. Gli obiettivi che la Porextherm si pone ormai da anni sono la creazione di spazi maggiori, grazie agli spessori limitati di questi isolamenti innovativi, e il risparmio di energia, rispetto ad alcuni sistemi di isolamento convenzionali meno efficienti.

Porextherm, da tre anni, ha brevettato l'uso di questo pannello, un materiale tecnologicamente avanzato, con buone prestazioni isolanti, composto da un nucleo di silice fumata, fibre di cellulosa termosaldate sottovuoto e un involucro in alluminio. L'Istituto tedesco per l'ingegneria civile (DIBT), infatti, ha rilasciato l'approvazione⁵ da parte delle autorità edilizie per Vacupor® TS-B2-S con il numero di certificazione Z-23.11-1662. Un aspetto vantaggioso, dunque, è anche il fatto che la ditta Porextherm ha ricevuto una Dichiarazione Ambientale del suo prodotto (EPD). La conduttività termica registrata e dichiarata è molto bassa, pari a 0,007 W/mK.

I principali vantaggi del pannello Vacupor - Vacuum Insulated Panel (VIP) sono:⁶

- Consente un risparmio energetico ed è sostenibile in molte delle sue fasi.
- Il calore prodotto durante la produzione viene riutilizzato negli stabilimenti.
- Due sono gli scenari di fine vita possibili: è previsto il riciclo del 100% del pannello, creando così un risparmio del 95% dell'energia primaria. Il secondo scenario previsto, invece, prevede il 100% del suo incenerimento: questo crea un vantaggio minore ma consente di recuperare l'energia/ calore generati.
- Il fissaggio dell'isolamento è semplice, grazie alla possibilità di incollaggio con nastri adesivi.
- E' resistente alla pressione grazie alla presenza di filamenti di fibre che supportano la struttura tridimensionale della polvere di silice altamente dispersa. Di conseguenza, non sono generalmente richieste custodie aggiuntive per la stabilità meccanica.
- A parità di prestazione, ha uno spessore pari a 1/6 di un materiale tradizionale come la lana di roccia.
- Grazie allo spessore ridotto permette di risparmiare spazio.
- E' resistente ai carichi e agli urti.
- E' resistente all'umidità ed è ignifugo.
- E' riciclabile e sostenibile.
- Può essere utilizzato nell'intervallo di temperatura tra i -50 °C e i 120 °C.

Le principali applicazioni in edilizia per Vacupor sono:

- L'isolamento termico di pareti e solai, sia interni che esterni
- L'isolamento termico di pavimenti
- Settore automobilistico
- Settore aerospaziale
- Settore aeronautico.

Per le informazioni economiche a riguardo, si veda la tabella precedente con l'elenco delle ditte e dei relativi prodotti e costi (€,€/mq, costo a parità di prestazione). Di seguito, alcune informazioni specifiche di prodotto - Scheda tecnica di Vacupor.



Vakuu-Isolations-Paneele
 Vacupor® NT-B2-S / Vacuspeed®
 Vacupor® PS-B2-S / Vacupor® XPS-B2-S
 Vacupor® PIR-B2-S / Vacupor® BIT-B2-S
 Vacupor® RP-B2-S / Vacupor® TS-B2-S
 Vacupor® MW-B2-S / Vacupor® Roof
Porextherm Dämmstoffe GmbH

Foto 3.1
 Dichiarazione Ambientale del pannello VIP
 Vacupor - EPD valida fino al 11-12-2019.

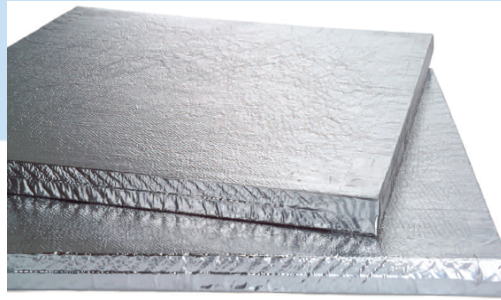


² EPD, Environmental Product Declaration, è una Dichiarazione Ambientale rilasciata alla Ditta Porextherm il 30 marzo 2015.

³ Dati forniti dalla scheda tecnica e dall'EPD del pannello isolante Vacupor.



Data sheet
Vacupor® NT



Physical Properties	
Colour	Silver
Density (kg/m ³) ⁽¹⁾	150 - 300
Thermal Conductivity at mean temperature of 22.5°C (W/m·K)	
@ 1 mbar ⁽²⁾	0.0041
@ ambient pressure	0.019
Temperature Resistance (°C) ⁽³⁾	-50 < T < 120
Maximum Film Projection (mm)	100
Interior Pressure (mbar)	≤ 5
Theoretical Pressure Rise (mbar)	0.5
Maximum Panel Dimensions	
Length (mm)	150 - 2200
Width (mm)	150 - 1000
Thickness (mm)	10 - 50
Length Tolerances (mm)	
0 to 500	+ 1.0 / -2.0
501 to 1000	+ 1.0 / -4.0
> 1000	+ 1.0 / -6.0
Thickness Tolerances (mm)	
< 20	± 1.0
20 to 30	+ 1.0 / -2.0
> 30	+ 1.0 / -3.0
Thermal Shock Resistance	Vacupor® NT (core material) is insensitive to high and low temperature thermal shocks

Thermal conductivity

Thermal Conductivity as a function of internal pressure.

Gas Pressure (hPa)	U value (W/m ² K)	λ (10 ⁻³ W/m·K)
< 10 ⁻³	0.187	3.63
0.1	0.188	3.66
1.0	0.193	3.75
10	0.219	4.25
150	0.448	8.70
1000	0.943	18.30

3.3.2 La ditta Rigips e i suoi prodotti PCM: il pannello Alba Balance

Ricordiamo che i materiali a cambiamento di fase sono usati in edilizia prevalentemente per ridurre i consumi energetici necessari alla climatizzazione degli ambienti: essi accumulano calore di giorno, sottraendolo dall'ambiente esterno, per rilasciarlo di notte, quando la temperatura esterna si abbassa. Operano quindi un cambiamento di fase giorno/notte, sfruttando il differenziale di temperatura delle diverse ore del giorno. Ciò consente di ridurre i consumi per il raffrescamento/riscaldamento e le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. Oltre a ciò, ricordiamo anche che i PCM si presentano principalmente in due forme: vi sono le microcapsule di paraffina/sali idrati, inserite in pannelli di cartongesso o gesso, ma vi sono anche microcapsule PCM integrate in altri materiali come vetro, legno, plexiglass e intonaco. La Rigips è una ditta austriaca che, soprattutto dall'ultimo decennio, produce materiali isolanti a cambiamento di fase, i pannelli Alba Balance. In questo caso, la ditta presa in analisi produce un'unica tipologia di isolante e non ha ricevuto un'EPD. Alba Balance è una lastra di gesso massiccio, (estratto da cave svizzere), con microcapsule isolanti PCM integrate nel gesso, che garantiscono ininterrottamente una temperatura interna equilibrata, sia nel periodo estivo che in quello invernale.

I principali vantaggi del pannello Phase Change material Alba Balance sono:⁷

- A seconda del metodo costruttivo e dell'impiantistica degli edifici, vi è un risparmio fino al 50% dell'energia di raffreddamento e di riscaldamento.
- Abbiamo calcolato per esempio che una parete leggera rivestita con Alba (2.5 cm) può accumulare tanto calore quanto una parete in mattoni di laterizio di 20 cm.
- Aumenta il comfort dell'edificio: appena la paraffina delle capsule raggiunge una determinata temperatura si liquefa, immagazzina l'energia calorica generata e, non appena si raffredda, accumula calore.
- Mentre le lastre classiche di cartongesso si riscaldano e si raffreddano parallelamente all'intensità dell'apporto di calore, le lastre di gesso massiccio Alba Balance abbatte i picchi. Il motivo è da ricondurre al comportamento accumulativo latente delle microcapsule PCM.
- Garantisce una regolazione naturale del clima interno senza impiego di altre fonti energetiche: le microcapsule PCM integrate nel gesso, infatti, compiono il cambio di stato di aggregazione nel campo di benessere dell'uomo (23°C o 25°C). Se la temperatura ambientale supera questi valori, le lastre assorbono il calore in eccesso. Quando la temperatura cala nuovamente, il calore viene reso all'ambiente.
- Le microcapsule di Alba riducono le variazioni fra le temperature massime e minime delle pareti rispetto alle pareti leggere classiche; ciò è dimostrato dalle misurazioni effettuate presso il Fraunhofer Institut für solare Energie di Friburgo/D (rapporto delle prove per Alba Balance).
- Ritagli e scarti di materiale possono essere riciclati negli impianti Rigips RiCycling® per essere reimpiegati nella produzione di nuove lastre Alba®.

Inoltre, un aspetto rilevante è che le lastre di gesso massiccio Alba sono realmente sostenibili: vengono prodotte nelle fabbriche svizzere della Rigips con gesso grezzo locale. Ciò garantisce brevi percorsi per il trasporto dalle cave ai luoghi di produzione e da lì al mercato. La fabbricazione è garantita da forni di nuova generazione che offrono maggior efficienza energetica, alimentati con gas naturale ed elettricità ecologici. Una volta prodotte, le lastre non causano più alcuna emissione di anidride carbonica: contribuiscono a ridurre il fabbisogno energetico per il riscaldamento. Per quanto riguarda le possibili applicazioni, le lastre Alba possono essere impiegate nei più svariati casi, come pareti di rivestimento autoportanti e pareti a montanti, controsoffitti, mansarde e soffitti in travi di legno. Nella costruzione in legno permettono di raggiungere una massa termica paragonabile a quella degli edifici massicci e convenzionali. Inoltre, sono adatte sia per le abitazioni sia per gli edifici industriali e pubblici. Dato che le lastre PCM assorbono anche il calore emanato dagli apparecchi e dall'illuminazione, possono far risparmiare anche sulla successiva installazione di impianti e apparecchi di climatizzazione nel risanamento di edifici per il lavoro.

Per le informazioni economiche a riguardo, si veda la tabella precedente con l'elenco delle ditte e dei relativi prodotti e costi (€,€/mq, costo a parità di prestazione).



Foto 3.2
Pannello Alba Balance - Esempio di applicazione per una partizione interna.



Foto 3.3
I pannelli Rigips sono stati testati da organi di sorveglianza e vengono controllati da istituti indipendenti.

⁴ Dati forniti dalla scheda tecnica del pannello Alba Balance. Non vi è un'EPD.



Alba Balance è la prima lastra in gesso massiccio con tecnologia PCM che, grazie alla sua elevata capacità di accumulare calore, permette di migliorare in modo significativo il bilancio energetico e il benessere ambientale in un edificio.



Alba Balance reagente a $23\text{C}^{\circ} \pm 1\text{C}^{\circ}$, disponibile

Alba Balance reagente a $25\text{C}^{\circ} \pm 1\text{C}^{\circ}$, disponibile

Dati tecnici

Classificazione del materiale	secondo EN 13501-1 secondo AICAA	Classificazione: A1 (Attestato di utilizzazione AICAA N. 23821) △ indice d'incendio: 6q3
--------------------------------------	-------------------------------------	---

Forma dei bordi	Bordi longitudinali con incastro maschio e femmina	
	Bordi trasversali con incastro maschio e femmina	

Marcatura della lastra	Alba Balance è colorato nella massa di rosa.
-------------------------------	--

Dimensioni	Spessore nominale	25	mm
	Lunghezza nominale	1000	mm
	Altezza nominale	500	mm
	Tolleranze	secondo EN 12859	Spessore $\pm 0,5$ Lunghezza $\pm 5,0$ Altezza $\pm 2,0$ Planarità $\pm 1,0$

Massa	Massa volumica	900 ± 10	kg/m^3
	Massa areica	$23 \pm 0,5$	kg/m^2



Stato 03/2015



Particolarità	Acqua di cristallizzazione nel nucleo di gesso		ca. 15 - 19	Misure -%
	Limite di resistenza al calore (sollecitazione a lungo termine)		mass. 50	°C
	Valore pH		6 - 9	-

Caratteristiche meccaniche	Carico di rottura		ca. 600	N
	Resistenza a trazione per flessione		ca. 1.7	N/mm ²
	Modulo		ca. 2100	N/mm ²
	Durezza della superficie	secondo Shore	40 - 50	
	Resistenza alla compressione		3.5-4.0	N/mm ²
	Resistenza al taglio		1.3-1.6	N/mm ²
	Resistenza allo strappo per trazione		> 0,25	N/mm ²

Calore	Conduttività termica λ	secondo EN ISO 10456	ca. 0.27	W/(mK)
	Resistenza alla diffusione del vapore	secondo EN 12524	5-10	μ
	Calore latente (dH) a 23°C ± 1 C°		291	kJ/m ² Wh/m ²
			82	
	Calore latente (dH) a 25°C ± 1 C°		306	kJ/m ² Wh/m ²
			85	
	Calore specifico (Cp)		26.7	kJ/m ² K
Capacità di accumulazione totale (10-30C°)				
	a 23°C ± 1 C°		825	kJ/m ²
	a 25°C ± 1 C°		840	kJ/m ²

Umidità	Resistenza alla diffusione del vapore μ	secondo EN 12524	asciutto: 10 bagnato: 4	μ	
	Strato d'aria equivalente alla diffusione del vapore sd		asciutto: 0.25 bagnato: 0.1	m	
	Assorbimento di umidità / umidità di equilibrio (dipendente dal clima)	a 20°C	40% U.R.:	0.3 - 0.6	Misure -%
			60% U.R.:	0.6 - 1.0	
80% U.R.:			1.0 - 2.0		
Cambiamento della lunghezza in relazione al cambiamento di umidità relativa dell'aria di 30%	a 20°C		0,015	%	



3.3.3 La ditta Actis e i suoi Termoriflettenti Stratificati: il rotolo Actis Triso Super 10

ACTIS è una ditta francese con sede a Limoux, nella regione Languedoc-Roussillon, che produce pannelli isolanti sottili multiriflettenti. Da vent'anni, infatti, continua a proporre soluzioni isolanti di ultima generazione, efficaci soprattutto dal punto di vista del risparmio energetico. Fondata nel 1980, ACTIS è leader sul mercato europeo attuale per quanto riguarda gli isolanti sottili multistrato riflettenti. Nello specifico, i differenti sistemi di isolamento prodotti sono cinque: le principali differenze tra essi si riscontrano nel peso, nei componenti, talvolta nella resistenza alla lacerazione e, in modo particolare, nel diverso campo di applicazione.

- Actis Triso Laine, un pannello isolante a base di lana di pecora, indicato per tetti, sottotetti, pareti verticali e pavimenti non calpestabili.
- Boost Hybrid, una membrana traspirante che può essere usata eventualmente insieme a qualsiasi tipo di isolante, disponibile in rotoli di 10 mq, larghi 1.5 m. Viene applicato alle coperture e alle pareti esterne.
- Actis Triso Sols, un sottile pannello isolante multiriflettente, indicato per pavimenti con sistema radiante e sotto al massetto flottante.
- Actis Triso Murs, un pannello costituito da pellicole riflettenti metallizzate e separatore in schiuma, indicato per pareti verticali e pavimenti.
- Actis Triso Super 10, un sistema di isolamento (rotolo, non pannello) di 35 mm, composto da film rinforzati esterni, ovatta di fibra di poliestere, schiuma flessibile di polietilene e film metallizzati.



Environmental Product Declaration
ISO 14025 / ISO 21930



Foto 3.4
Dichiarazione Ambientale del Rotolo Actis Triso Super 10, rilasciata da TRADA Technology Ltd - valida fino al 19-07-17.

Per quanto riguarda quest'ultimo prodotto, la sua resistenza termica è equivalente a 210 mm di lana minerale, ha una conduttività termica dichiarata di 0,04 W/mK ed ha un valore di resistenza termica dichiarato di 5,25m²K/W. In particolare, la specificità di quest'ultimo prodotto è che è stato misurato in condizioni reali di utilizzo da TRADA Technology Ltd e certificato⁸ come equivalente a 210 mm di lana minerale da BM TRADA Certification Ltd, per un'applicazione sottotetto secondo il modo di posa standard inglese. Ciò significa che, rispetto agli altri quattro prodotti della ditta ACTIS, questo possiede una certificazione ambientale di prodotto (EPD valida per 1 mq di prodotto Actis Triso Super 10, con spessore 35 mm). I dati sul consumo energetico sono stati acquisiti su due coperture in grandezza naturale identica, una dotata di TRISO-SUPER 10, il secondo isolato con della lana minerale tradizionale. Le prove sono state eseguite in parallelo e in una serie di condizioni atmosferiche invernali tipiche e identiche del Regno Unito. Grazie a quanto sopra, si è potuto garantire la validità dei risultati ottenuti.

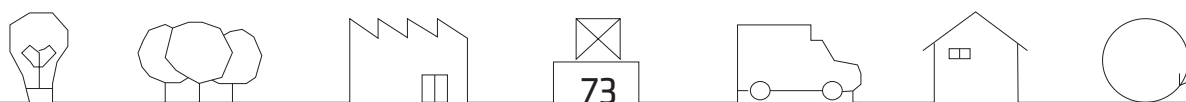
Le principali applicazioni in edilizia per il rotolo Actis Triso Super 10 sono: l'isolamento delle coperture, dei sottotetti e delle pareti verticali. I principali vantaggi sono:⁹

- Vi sono guadagni in termini di superficie abitabile: non supera i 35 mm, quindi, lo spessore ridotto è utile nelle ristrutturazioni o dove si ha poco spazio per isolare.
- Garantisce un risparmio energetico: abbiamo calcolato che circa 3 cm di questo prodotto corrispondono, a parità di prestazione, a circa 19 cm di lana di roccia.
- In inverno il freddo viene respinto e il calore emesso all'interno dei locali viene restituito, mentre in estate l'irraggiamento può tornare verso l'esterno, per evitare il surriscaldamento degli ambienti. Questo significa garantire un buon comfort interno.
- E' pratico: i rotoli sono leggeri, facili da trasportare, da stoccare e da posare.
- Ha una consistenza flessibile, poiché si adatta a tutti i supporti, assume tutte le forme, si taglia con un taglierino e si posa mediante graffatura/nastro adesivo.
- E' riciclabile e sostenibile: gli sprechi sono molto ridotti poiché non vi è la necessità di taglio, se non minima.
- Il trasporto dallo stabilimento di produzione al cliente è sostenibile: i camion non possono compiere più di 1230 Km.
- Il calore prodotto durante la produzione viene riutilizzato negli stabilimenti.
- Il 20% dei rifiuti viene riciclato.

⁵ EPD, Environmental Product Declaration, è una Dichiarazione Ambientale rilasciata alla Ditta ACTIS il 20 luglio 2012.

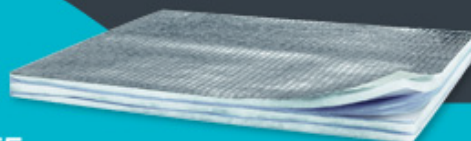
⁶ Dati forniti dalla scheda tecnica e dall'EPD del Rotolo Actis Triso Super 10.

Per le informazioni economiche a riguardo, si veda la tabella precedente con l'elenco delle ditte e dei relativi prodotti e costi (€,€/mq, costo a parità di prestazione).

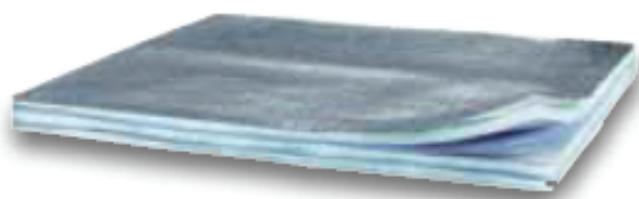


TRISO-SUPER 10+

ISOLANTE MULTISTRATO SOTTILE RIFLETTENTE
CON CERTIFICAZIONE TECNICA BM TRADA



ÉMISSIONS DANS L'AIR INTÉRIEUR*



Actis Triso Super 10 - La qualità dell'aria interna è garantita secondo ISO 16000.

ISOLAMENTO TETTI, SOTTOTETTI E PARETI VERTICALI ⁽¹⁾

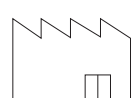
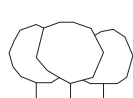
SPECIFICITÀ DEL PRODOTTO

TRISO-SUPER 10 è stato misurato in condizioni reali di utilizzo da TRADA Technology Ltd. e certificato come equivalente a 210 mm di lana minerale da BM TRADA Certification Ltd (certificato n° 0102 del 3 aprile 2006) per un'applicazione sottotetto secondo il modo di posa standard inglese.



ALTRI VANTAGGI

- Confort termico estate ed inverno
 - In inverno: crea una barriera al freddo e restituisce il calore emesso all'interno delle stanze,
 - In estate: rimanda all'esterno l'irraggiamento per evitare il surriscaldamento nei sottotetti.
- Maggior volume e superficie abitabile
- Prodotti senza fibre irritanti
- Isolamento duraturo
- Posa facile e veloce : Si taglia con il cutter ACTIS, può essere posato e fissato tramite graffe.



CARATTERISTICHE TECNICHE

EFFICACIA TERMICA: Equivalente a 210 mm di lana minerale*

*Efficacia termica equivalente a 210 mm di lana minerale ($\lambda = 0,04$) basato su dei test comparativi in condizioni reali di utilizzazione e certificata da BM TRADA Certification Ltd.

NUMERO DI COMPONENTI

- | | |
|--|--|
| 19 di cui: | Numero di pellicole riflettenti: 8 |
| - 2 pellicole metallizzate con griglia di rinforzo | Massa superficiale: 600 g/m ² |
| - 3 tipi di ovatta | Spessore: +/- 30 mm |
| - 8 schiume | |
| - 6 pellicole riflettenti intermedie | |

PROPRIETÀ MECCANICHE	VALORI	NORME DI RIFERIMENTO
----------------------	--------	----------------------

Resistenza alla rottura

Longitudinale	>500 N	EN ISO 13934-1
Trasversale	>400 N	

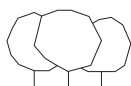
Resistenza alla lacerazione

Longitudinale	>60 N	EN ISO 13937-2
Trasversale	>60 N	

IMBALLAGGIO

20 m² ripiegato

Larghezza	1.60 m
Lunghezza	12.50 m
Peso (approssimativo per rotolo)	12 kg



75



3.4 ISOLANTI DI ULTIMA GENERAZIONE A CONFRONTO

Abbiamo selezionato precedentemente tre materiali isolanti ultra performanti presenti sul mercato d'oggi: il pannello sottovuoto Vacupor, il pannello Alba con materiali a cambiamento di fase e l'isolante termoriflettente Actis Triso Super 10.

Essi sono rappresentativi per la loro categoria, ossia VIP, PCM e Isolanti termoriflettenti stratificati, per questo sono stati presi come modelli per uno studio comparativo in termini applicativi, economici ed ambientali.

Tuttavia, volendo confrontare i tre sistemi di isolamento, è stato riscontrato che i materiali a cambiamento di fase (PCM), rispetto agli altri due, sono carenti di informazioni in merito ai costi specifici e, soprattutto, all'impatto ambientale: non sono stati reperite Dichiarazioni Ambientali di prodotto (EPD) né documentazioni che potessero fornire dati utilizzabili per paragonarli. Inoltre, i valori di trasmittanza, conducibilità e resistenza dei PCM inseriti in materiali come il cartongesso o l'intonaco, non possono essere paragonati con i valori delle altre due tipologie di isolanti.

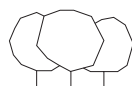
Dopo l'analisi e il riscontro diretto con i casi studio, è stato confermato che i PCM sono materiali piuttosto costosi, spesso combinati con altri isolanti tradizionali e utilizzati prevalentemente in edifici adibiti al terziario o nei padiglioni temporanei. Ciò significa che, rispetto ai VIP e ai Termoriflettenti, sono isolanti che non hanno un panorama di applicazioni così vasto (sono quasi completamente assenti nel campo residenziale) e sono materiali ancora poco utilizzati e ancora troppo innovativi.

Per questo motivo, il confronto sviluppato in termini di applicazione, in ambito economico e dal punto di vista ambientale (riportato dopo le tabelle 5 e 6) riguarderà prevalentemente i pannelli VIP e gli isolanti Termoriflettenti, per la somiglianza dei dati raccolti e dunque per la fattibilità stessa del confronto.

Innanzitutto, per i materiali a cambiamento di fase è stato riportato nella tabella 5 sottostante un confronto specifico tra una lastra di cartongesso tradizionale GKB ed una lastra innovativa con microcapsule PCM Smartboard 23 di paraffina.

Tabella 5 - Confronto specifico per i PCM, non potendolo svolgere con altri materiali isolanti. Si veda Tab. 2.

NOME PRODOTTO	LASTRA GKB (A) - Cartongesso	MICRONAL PCM SMARTBOARD 23 - Cartongesso con microcapsule di paraffina
DITTA PRODUTTRICE	Knauf	BASF
DIMENSIONE	2*1,2 m	2*1,25 m
SPESSORE	0,0125 m	0,015 m
MASSA SUPERFICIALE	9,5 kg/mq	12 kg/mq
DENSITA'	760 kg/mc	800 kg/mc
CONDUTTIVITA'	0,20 W/mK	0,18 WmK
RESISTENZA TERMICA	0,23 mqK/W	0,25 mqK/W
TRASMITTANZA	4,35 W/mqK	4,0 W/mqK
CARICO A FLESSIONE LONGITUDINALE	550 N	400 N
CARICO A FLESSIONE TRASVERSALE	210 N	300 N
TEMPERATURA DI TRASFORMAZIONE	-	23°
CALORE LATENTE ALLA T DI TRASFORMAZIONE	0 kJ/mq	330 kJ/mq
CALORE SPECIFICO	1,20 kJ/kgK	0,85 kJ/kgK



76



ISOLANTE	ORIGINE	COMPOSIZIONE	STRUTTURA	DESCRIZIONE	SPESSORE (m)*	MASSA SUPERFICIALE (kg/mq)*	DENSITA' (kg/mc)*	CONDUTTIVITA' (W/mk)*	CALORE SPECIFICO (kcal/kgK)*	RESISTENZA (mqK/W)*	TRASMITTANZA (W/mqK)*
VIP	sintetica	compositi stratificati	cellulare minerale	pannello a base di acido silicico inserito in un involucro di alluminio sottovuoto	0,036	6,5	180	0,007	0,215	5,3	0,19
PCM	sintetica	compositi a matrice	cellulare minerale	microcapsule di paraffina/sali idrati, inserite in pannelli di cartongesso/gesso o in altri materiali come vetro, legno, plexiglass e intonaco	-	-	-	-	-	-	-
TERMORIFLETTENTI	sintetica	compositi stratificati	alveolare	pellicole di polietilene accoppiate o fuse su fogli di alluminio puro	0,030	0,6	20	0,006	0,215	5,3	0,19
LANA DI ROCCIA	minerale	monomaterico	fibrosa	diabase, basalto e dolomite	0,190	19	100	0,037	0,200	5,3	0,19
LANA DI VETRO	minerale	compositi a matrice	fibrosa	sabbia quarzosa/vetro vecchio, dolomite, feldspato e calcare	0,190	4,2	20	0,043	0,200	5,3	0,19
EPS	sintetica	monomaterico	cellulare alveolare	pannelli composti da carbonio, idrogeno e per il 98% d'aria	0,230	3,3	15	0,045	0,300	5,3	0,19
			ultra performanti								
			tradizionali								

Tabella 6 - Confronto a parità di prestazione tra sei isolanti, tradizionale/innovativo.

*N.B.: i valori di spessore e conduttività sono stati scelti al fine di ottenere le medesime prestazioni per ciascun isolante. I dati di massa superficiale, densità e calore specifico sono valori medi per ogni categoria di isolante. I valori di resistenza e trasmittanza sono stati calcolati tenendo in considerazione: adduttanza interna 7,7 W/mqK, adduttanza esterna 25 W/mqK.

I PCM qui non sono stati considerati: si veda il confronto nella tabella precedente, tra lastra di cartongesso tradizionale e lastra di cartongesso con PCM integrati.



3.4.1 Confronto in termini di applicazione: VIP, PCM e Termoriflettenti stratificati ¹⁰

a. Relativamente alla tipologia di prodotto di questi tre isolanti, si può affermare che: Per quanto riguarda l'applicazione dei tre isolanti innovativi analizzati, ossia VIP, PCM e Termoriflettenti possiamo affermare innanzitutto che, trattandosi di materiali differenti tra loro, sia in termini di tipologia, che di prodotto e di formato, anche la modalità con cui essi vengono messi in opera è diversa, e dipende da caso a caso.

- i VIP sono pannelli (acido silicico microporoso pressato ed inserito in un involucro di alluminio sottovuoto), e ciò fa sì che eventuali tagli o un trasporto improprio determinino la perdita dell'efficienza del prodotto stesso, ossia il sottovuoto.

- i PCM non sono solo pannelli, ma possono essere anche microcapsule isolanti, inserite in un altro materiale come cartongesso, legno, intonaco, plexiglas, cemento. Non essendo sottovuoto, non hanno lo stesso problema dei VIP nell'applicazione.

- i Termoriflettenti sono rotoli mono strato o con più strati di pellicole di polietilene (accoppiate o fuse su fogli di alluminio puro). Come i PCM, anche questi non hanno il rischio di perdita delle proprie prestazioni non essendo materiali sottovuoto.

b. Relativamente al formato e lo spessore di questi isolanti, si può affermare che:

- i VIP presentano forme standard, solitamente tra i 250 × 250 mm e i 1200 × 1000 mm, non perfettamente quadrate, quindi non molto comodi quando vengono applicati; inoltre, hanno uno spessore tra i 10 e i 50 mm, che riesce a garantire in poco spazio un buon isolamento termico.

- i PCM organici (ossia le paraffine, i carboidrati e i lipidi derivati) e i PCM inorganici (ossia gli idrati di sale) sono microcapsule che vengono inserite in un altro materiale, invece i PCM solidi sono pannelli con uno spessore che non supera mai i 30 mm, e soprattutto con forme molto più adattabili di quelle dei VIP.

- i Termoriflettenti, essendo dei rotoli isolanti, solitamente tra i 20 e i 30 mm, si applicano e si adattano molto più facilmente di altri sistemi di isolamento.

c. Relativamente ai principali parametri tecnici (oltre all'elevato potere isolante), evidenziati ad esempio nelle rispettive schede tecniche e nelle EPD di prodotto:

- i VIP presentano un'elevata densità, essendo isolanti sottovuoto, che si aggira tra i 150 e i 250 kg/m³, ed uno spessore limitato, tra i 7 e i 30 mm.

- i PCM presentano una bassa conducibilità, tra 0.20 e 1.10 W/mk, e uno spessore molto ridotto, solitamente tra i 6 e i 25 mm.

- i Termoriflettenti hanno una bassissima conducibilità, tra 0.003 W/mk e 0.035 W/mk, e, come nei due casi precedenti, spessori molto ridotti, tra i 6 e i 15 mm. Inoltre, creano una barriera al freddo e restituiscono il calore emesso all'interno delle stanze e degli ambienti interni in cui essi vengono applicati.

d. Relativamente ai casi studio precedentemente analizzati (si veda il capitolo 3.2), e dunque relativamente ai campi di applicazione, si può affermare che:

- i VIP vengono applicati prevalentemente sulle pareti esterne e su facciate.

- i PCM, invece, permettono interventi principalmente sugli involucri (sia vetrati che non vetrati) o interventi specifici, come l'inserimento di PCM negli oscuranti.

- l'applicazione dei Termoriflettenti riguarda soprattutto le partizioni orizzontali e l'involucro (considerando sia il cappotto esterno che il cappotto interno).

e. Relativamente alla messa in opera e alla posa, si può affermare che:

- i VIP, oltre ad avere una forma che complica un po' l'assemblaggio, richiedono maestranze qualificate per la loro installazione, perché è necessario operare facendo sì che questi non si danneggino. I produttori consigliano la realizzazione di moduli sandwich in officina, che poi vengono installati direttamente in cantiere, senza stoccaggio. Ciò è consigliabile anche perché la condizione di sottovuoto non permette di tagliare i pannelli in cantiere. In fase di progettazione, infatti, gli elaborati esecutivi devono poter fornire dettagliatamente l'esatta dimensione e la quantità

⁷ Le informazioni e i dati per il confronto applicativo sono stati presi dalle rispettive schede tecniche e dalle EPD, relativi alle tre tipologie di isolanti presi in analisi.



di pannellatura. I VIP sono quindi un po' più difficili da produrre rispetto agli altri. Nonostante ciò, la posa è veloce e pratica: avviene per incollaggio di questi pannelli (con specifiche colle che dipendono da produttore a produttore) o per fissaggio meccanico ad un supporto ligneo tramite delle viti (di 1 cm circa).

- i PCM hanno tecniche di posa differenti: si possono inserire microcapsule di PCM in una miscela o direttamente in un altro materiale già esistente, oppure, nel caso dei pannelli PCM, l'applicazione avviene per incollaggio o fissaggio meccanico.
- i Termoriflettenti sono rotoli che vengono facilmente graffiati al supporto sottostante, e non richiedono operai qualificati né particolari accorgimenti in fase di progettazione. Sono dunque molto pratici da usare sul cantiere: data la loro flessibilità, si adattano a tutti i supporti e possono assumere tutte le forme. Consentono dunque risparmi in tempi di stoccaggio a magazzino, trasporto e movimentazione in cantiere. Infine, oltre alla facilità di trasporto e di applicazione, essi sono facili da rimuovere una volta che hanno concluso il loro ciclo di vita.

f. Relativamente al ciclo di vita non è stata ancora certificata la loro durabilità:

- sui PCM l'ISE di Friburgo sta svolgendo dei test per testarne la stabilità e ad oggi si può affermare che si parla di un ciclo di vita di almeno 50 anni.
- la durabilità dei Termoriflettenti è stimata a 35-50 anni, come hanno mostrato recenti studi su alcuni edifici residenziali condotti dalla ditta Actis e dalla Over All.

3.4.2 Confronto in termini economici: VIP, PCM e Termoriflettenti stratificati ¹¹

Dal censimento compiuto in merito alle principali ditte di VIP, PCM e Termoriflettenti (si veda il capitolo 3.3 - Tabella Censimento Ditte nel mercato attuale ¹¹) si è riscontrato che gli isolanti Termoriflettenti rappresentano i materiali più economici sul mercato d'oggi: questi non superano i 25-30 €/mq, dipendentemente dal fatto che possano essere mono-strato (14-16€/mq) o stratificati (entro i 30€/mq). Ben più alti sono i prezzi dei pannelli VIP e dei pannelli che contengono materiali a cambiamento di fase: i primi si aggirano sui 200-250€/mq per uno spessore di 4cm (il costo può variare a seconda dello spessore e del formato), mentre i PCM hanno un costo che si avvicina ai 300€/mq (per quanto siano scarse le informazioni reperite).

Sono stati calcolati successivamente i costi di VIP e degli isolanti Termoriflettenti a parità di prestazione: per ottenere un valore di trasmittanza di 0,19 W/mqK (corrispondente a 1,0 mq di lana di roccia con spessore 19 cm) sono necessari:

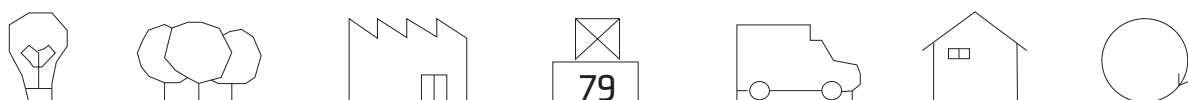
- 1 mq di isolante Termoriflettente, avente uno spessore di 3 cm
- 1 mq di pannello sottovuoto VIP, avente uno spessore di 3,6 cm

Nell'ultima colonna delle rispettive tabelle di VIP e Termoriflettenti riguardanti le ditte produttrici¹¹ è stato inserito il costo a parità di prestazione; per gli isolanti stratificati il costo è, in media, di 13,27 €/mq mentre per i VIP di 201,13€/mq. Eccetto che per i VIP, la cui installazione richiede maestranze qualificate perché è necessario operare facendo sì che i pannelli non si danneggino neppure minimamente, i PCM e gli isolanti Termoriflettenti, invece, non necessitano di operai specializzati per la posa in opera. Per questo motivo, solo per questi ultimi due, ipotizziamo un costo di manodopera accessibile ed inferiore a quello richiesto per la posa dei VIP.

Senza dubbio, il confronto sovrastante ha evidenziato:

- i vantaggi in termini economici degli isolanti Termoriflettenti, che, rispetto ai VIP e ai PCM, sono materiali innovativi ma comunque economici ed accessibili a tutti.
- il vantaggio, per tutti e tre le tipologie di isolante ultraperformante, di disporre di una gamma diversificata di prodotti¹¹ a seconda del tipo di applicazione in edilizia (parete esterna, partizioni orizzontali o verticali, copertura, balconi, pavimentazioni).

⁸ Per il confronto in ambito economico è utile osservare anche la tabella al capitolo 3.3, ossia il Censimento delle principali Ditte produttrici dei tre isolanti di ultima generazione analizzati, (considerando il mercato attuale) e dei relativi prodotti.

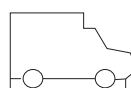
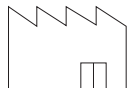
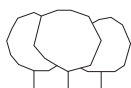


3.4.3 Confronto in termini ambientali: VIP e Termoriflettenti stratificati

Come precedentemente affermato, i dati relativi ai materiali a cambiamento di fase riguardanti gli impatti ambientali non sono stati reperiti, motivo per il quale il confronto che segue riguarda solo i Termoriflettenti stratificati e i pannelli VIP. La tabella seguente (Tabella 7) mostra un'analisi che si basa sulle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto dei due materiali in analisi nel capitolo 3.3 (ossia dei due prodotti per i quali sono state reperite le EPD, tra i vari isolanti innovativi riportati):

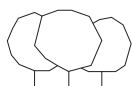
- il pannello isolante sottovuoto (VIP) Vacupor - prodotto dalla Ditta tedesca Porextherm (nel cap. 3.3.1),
- il rotolo isolante Termoriflettente stratificato Triso Super 10 - prodotto dalla Ditta francese Actis (nel cap. 3.3.3).

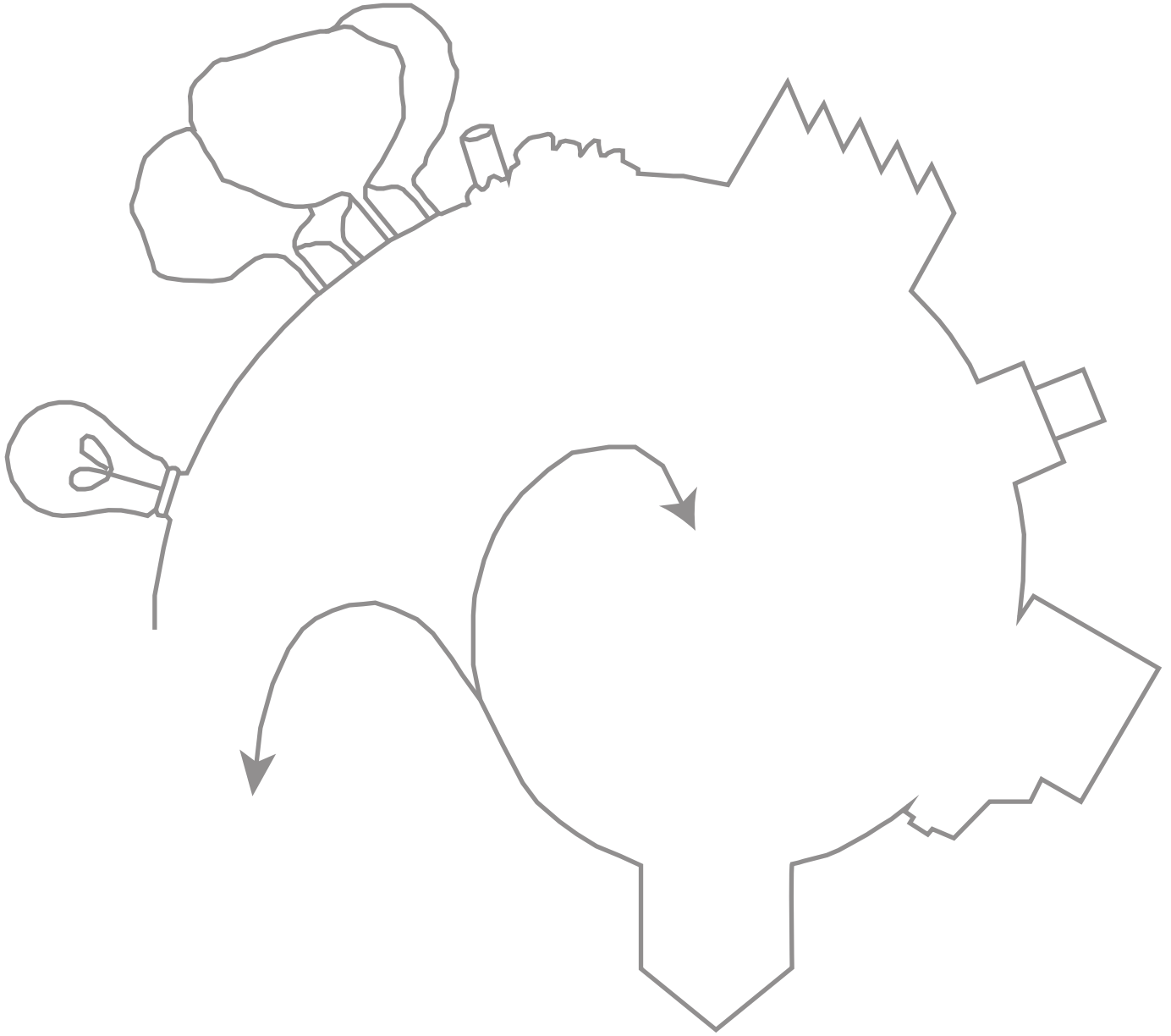
CONFRONTO		VACUUPOR, POREX THERM (PANNELLO VIP)		
CARATTERISTICHE E PROPRIETA' DEL MATERIALE				
	Componenti	VIP: isolante a base di acido silicico microporoso, inserito in un involucro di alluminio sottovuoto		
	Percentuali materiale	nucleo in diossido di silicio (57-87%) e carburo di silicio (10-40%) pressati in polvere, uno strato di poliestere ed infine un involucro in alluminio (3%)		
	Unità funzionale	1 mq x 25 mm di spessore		
	Peso unità funzionale	4,5 Kg/mq		
	Densità unità funzionale	181 Kg/mc		
	Corrosione	X	non viene corrosato dall'acqua, è impermeabile	
	Tenuta al vapore	✓	è resistente al vapore	
	Infiammabilità	X	è ignifugo	
FASE DI PRODUZIONE E APPLICAZIONE				
 	Essiccamento durante la produzione	✓	il pannello è essiccato a 60 - 150 °C	
	Creazione del sottovuoto	✓	il pannello è pressato per creare il sottovuoto	
	Applicazione di un rivestimento	✓	Vacupor NT B2 S o Vacuspeed basic	
	Taglio pre cantiere	✓	è necessario tagliare e preparare i moduli prima del cantiere	
	Taglio sul cantiere	X	perché è sottovuoto	
	Praticità nell'applicazione	X	non molto pratico: errori nel trasporto/posa creano la perdita del vuoto, però si applica semplicemente con della colla (specifica)	
	Ulteriori materiali per l'imballaggio	✓	scatole (composte dal 50-85% di carta riciclata)	
	Protezione al danneggiamento	✓	schiuma EWC 15 01 02 tra i pannelli	
	Facilità d'installazione del prodotto finito	X	solo con personale qualificato	
	Uso del calore della produzione	✓	per gli stabilimenti di produzione	
	Riciclo degli scarti di produzione	✓	riciclo di polveri e scarti durante il taglio dei pannelli	
	Riciclo dei materiali di imballaggio	✓	riciclo delle scatole di carta	
	Sostenibilità durante il trasporto	✓	il camion compie solo trasporti locali, circa 300 Km al massimo	
Prestazioni per tutto il ciclo di vita	✓	le prestazioni calano dai 35 anni in poi, se non danneggiato		
SCENARI DI FINE VITA				
  	Riutilizzo dell'isolante - dopo danneggiamento	✓	se perde parte della condizione di vuoto, è riutilizzato con conduttività leggermente inferiore a 0.005-0.007W/mK	
	Ulteriore utilizzo dell'isolante - dopo danneggiamento	✓	se perde tutta la condizione di vuoto, è riutilizzato con conduttività di 0.02W/mK, e non più 0.005-0.007W/mK	
	Ulteriore utilizzo dei singoli componenti - dopo danneggiamento	✓	se il supporto del nucleo del pannello VIP non è riciclabile, viene utilizzato per la costruzione di strade	
	Fine vita - Scenario 1 - Discarica	✓	solo se il pannello perde completamente le sue prestazioni, e in nessun modo è recuperabile, viene smaltito in discarica (10%)	
	Tipo di smaltimento	✓	. smaltiti in discarica dal produttore come "plastiche metallizzate"; . altrimenti sono smaltiti come "macerie di edifici da demolizione"	
	Fine vita - Scenario 2 - Incenerimento	✓	la seconda soluzione è l'incenerimento al 100%: il vantaggio è minore ma vi è il recupero di calore/energia	
	Distruzione meccanica	✓	in caso di danneggiamento e perdita totale del vuoto	
	Fine vita - Scenario 3 - Riciclo	✓	la prima soluzione è il riciclo di tutti i componenti (100%): il vantaggio evidente è una riduzione del 95% di energia primaria	
Raccolta differenziata	✓	. riciclo del supporto del nucleo del pannello, ossia del tessuto di polipropilene (viene macinato e poi crea nuovi supporti); . riciclo dell'involucro in alluminio		



Sono stati messi a confronto i dati raccolti nelle Dichiarazioni Ambientali a partire dalla composizione del materiale e dalla sua struttura (elementi che compongono i due isolanti, densità, massa e dimensioni) e dalle proprietà meccaniche, fisiche e chimiche (resistenza, corrosione, tenuta al vapore, infiammabilità). Infine sono stati paragonate alcune fasi relative alla produzione dell'isolante, all'installazione in cantiere e ai differenti scenari di fine vita possibili (discarica, incenerimento, riuso e riciclo). Successivamente, nel capitolo 4.2, verrà elaborato uno studio LCA screening che valuterà gli impatti, lungo l'intero ciclo di vita, dei due materiali presi in analisi: essi vengono applicati ad un edificio residenziale a Madrid.

CONFRONTO		ACTIS SUPER TRISO 10 (ROTOLO TERMORIFLETTENTE)		
CARATTERISTICHE E PROPRIETA' DEL MATERIALE				
	Componenti	TERMORIFLETTENTE: a base di pellicole di polietilene (da 4 a 8) accoppiate o fuse su due fogli di alluminio puro (l'involucro)		
	Percentuali materiale	rotolo multistrato: ovatta di fibra di poliestere, 8 schiume di polietilene, pellicole riflettenti intermedie (6 strati) e involucro d'alluminio		
	Unità funzionale	1 mq x 35 mm di spessore		
	Peso unità funzionale	0,74 Kg/mq		
	Densità unità funzionale	21,15 Kg/mc		
	Corrosione	X	non viene corrosa dall'acqua, è impermeabile	
	Tenuta al vapore	✓	è resistente al vapore	
	Infiammabilità	X	è ignifugo	
FASE DI PRODUZIONE E APPLICAZIONE				
 	Essiccamento durante la produzione	X	non è previsto l'essiccamento	
	Creazione del sottovuoto	X	non è un prodotto sottovuoto	
	Applicazione di un rivestimento	✓	rivestimento riflettente per il controllo del vapore	
	Taglio pre cantiere	X	è un rotolo isolante, si taglia al momento sul cantiere	
	Taglio sul cantiere	✓	si srotola, si applica al momento e si incolla con nastro adesivo	
	Praticità nell'applicazione	✓	è molto pratico: sono sufficienti un cutter e delle graffette per fissare il rotolo ad un supporto ligneo	
	Ulteriori materiali per l'imballaggio	✓	film di polietilene, cartone, pallet	
	Protezione al danneggiamento		non specificato	
	Facilità d'installazione del prodotto finito	✓	è facile da installare, non servono operai specializzati	
	Uso del calore della produzione	✓	per gli stabilimenti di produzione	
	Riciclo degli scarti di produzione	✓	pochi scarti: parti di film metallizzati e di pellicole riflettenti	
	Riciclo dei materiali di imballaggio	✓	riciclo o incenerimento delle scatole di carta	
	Sostenibilità durante il trasporto	✓	il camion compie trasporti locali, circa 300 Km al massimo	
	Prestazioni per tutto il ciclo di vita	✓	50 anni, se non viene danneggiato	
SCENARI DI FINE VITA				
  	Riutilizzo dell'isolante - dopo danneggiamento	✓	è riutilizzato se non ha avuto un calo delle prestazioni	
	Ulteriore utilizzo dell'isolante - dopo danneggiamento	✓	è riutilizzato se non ha avuto un calo delle prestazioni	
	Ulteriore utilizzo dei singoli componenti - dopo danneggiamento		non specificato	
	Fine vita - Scenario 1 - Discarica	✓	il 43,8%, considerando tutti i componenti, è gettato in discarica	
	Tipo di smaltimento	✓	sono smaltiti in discarica come "macerie di edifici da demolizione" (processo di messa in discarica EcoInvent V2.2)	
	Fine vita - Scenario 2 - Incenerimento	✓	incenerimento del 36,2% dei vari componenti (100%) a fine vita	
	Distruzione meccanica	✓	in caso di completo danneggiamento	
	Fine vita - Scenario 3 - Riciclo	✓	il 20% di tutti i componenti utilizzati viene riciclato	
Raccolta differenziata	✓	è previsto il riciclo del 20% dei vari componenti (100%) a fine vita		





4. VIP E ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: RIQUALIFICAZIONE DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE A MADRID

4.1 STRATEGIE PREVENTIVE PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE: LA METODOLOGIA LCA

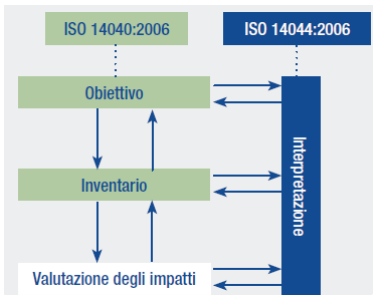


Foto 4.1
LCA - Life Cycle Assessment, procedura divisa in quattro fasi: definizione degli obiettivi, inventario dati, valutazione degli impatti lungo il ciclo di vita e interpretazione dei risultati. Metodologia regolamentata dalle normative ISO 14040 e ISO 14044 del 2006.

In risposta alle questioni sull'esaurimento delle risorse naturali e sul degrado ambientale, risulta molto vantaggioso per gli studi di progettazione, le imprese e le aziende l'utilizzo di strategie preventive e nuove metodologie che consentono di valutare le interazioni tra prodotto e ambiente. La metodologia Life Cycle Assessment è un approccio importante per analizzare l'impatto ambientale di un materiale da costruzione lungo tutto il ciclo di vita, partendo dalle fasi di estrazione delle materie prime, produzione, trasporto al cantiere, messa in opera, uso e manutenzione, fino allo smaltimento e ad un eventuale riciclo o riuso. Questo prende il nome di LCA "dalla culla alla tomba". La metodologia LCA viene regolamentata dalle norme ISO 14040-14044 e considera gli impatti ambientali (impoverimento delle risorse, qualità dell'ecosistema, salute umana). L'obiettivo di questo strumento è quello di fornire un quadro di informazioni ambientali complete di un prodotto o di un servizio, in modo da poter scegliere, in uno scenario di progettazione sostenibile, la migliore soluzione ambientale, nonché la più vantaggiosa.

La metodologia Life Cycle Assessment utilizza una procedura sistematica per definire, identificare, qualificare e valutare i risultati finali:

- Goal and Scope*. Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione: ciò significa stabilire il contesto e i limiti dell'analisi che si sta per compiere (prima fase);
- Life Cycle Inventory (LCI)*. Inventario del ciclo di vita: identificare l'utilizzo di acqua, energia e materiali e le emissioni nell'ambiente durante ciascuna fase (seconda fase);
- Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita: dopo essere stati identificati, gli impatti vengono valutati (terza fase);
- Life Cycle Interpretation*. Interpretazione dei risultati: lettura dei dati conclusivi di un LCA che possono poi essere paragonati con altre valutazioni (quarta fase).¹

Il metodo possiede alcune caratteristiche fondamentali:

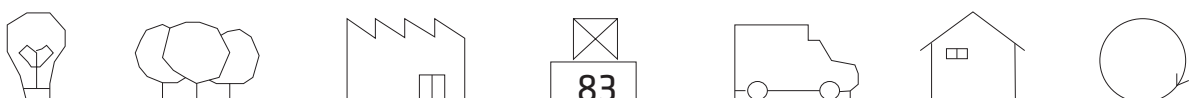
- un approccio iterativo, che viene studiato a partire da un'unità funzionale
- un approccio scientifico (talvolta integrato con scienze sociali ed economiche)
- completezza e trasparenza dei dati per una corretta interpretazione dei risultati.

LCA è un'analisi molto diversa rispetto ad altre metodologie (come, per esempio, la valutazione delle prestazioni ambientali, la valutazione dell'impatto ambientale e la valutazione del rischio) in quanto è un approccio basato su un'unità funzionale; può, tuttavia, fare uso dei dati raccolti da altre analisi. Inoltre non esiste un unico modo per condurre una valutazione del ciclo di vita: a seconda della definizione degli obiettivi e dell'ambito di analisi (fase 1) può variare sia la profondità dei dettagli, sia l'ampiezza dei dati che poi devono essere valutati e comparati. Ad esempio, ogni analisi considera gli indicatori che mostrano gli impatti maggiori sul sistema in esame (trasporto, materiali, consumo d'acqua e di energia); PERT (utilizzo totale di risorse di energia primaria rinnovabile) e PENRT (utilizzo totale di risorse di energia primaria non rinnovabile) sono quasi sempre considerati in ogni valutazione del ciclo di vita.

L'analisi Life Cycle Assessment (LCA) analizza i differenti impatti per ciascun materiale e si articola in quattro moduli differenti (A-B-C-D):

- Modulo A. Include i processi estrazione della materia grezza, il trasporto al sito di produzione (fabbrica), la manodopera necessaria (A1-A3), il trasporto al cantiere (A4) e la fase di installazione (A5);
- Modulo B. Riguarda fase d'uso, manutenzione, sostituzione e riparazione (B1-B7);
- Modulo C. Riguarda la fase di fine vita: la fase di demolizione (C1), di trasporto alla discarica (C2), di trattamento dei rifiuti (C3) e dello smaltimento (C4);
- Modulo D. Include le fasi di riuso e riciclo e il riutilizzo di acqua e di energia (D1-D3).

¹ International Standard ISO 14040. Environmental management - LCA - Principles and Framework; International Standard ISO 14044. Environmental management - LCA - Requirements and guidelines.



4.1.1 LCA screening: la diversa scala di dettaglio di una valutazione del ciclo di vita

A seconda degli obiettivi preposti e dai confini di sistema stabiliti, lo studio LCA avrà un livello di profondità e di dettaglio differente. Vi sono tre diverse tipologie di valutazione Life Cycle Assessment: screening LCA, simplified LCA (LCA semplificato) e completed LCA (LCA completa). L'obiettivo generale delle prime due tipologie è quello di semplificare uno studio LCA completo, mantenendo la precisione dei risultati, pur omettendo alcuni aspetti di dettaglio. Nel settore delle costruzioni, per esempio, gli screening LCA sono specialmente utilizzati da progettisti che richiedono strumenti semplici da usare a seconda delle esigenze. Ad esempio, un progettista può utilizzare questa metodologia per supportare il proprio progetto durante una competizione e, successivamente, adoperare un LCA completo nella fase più avanzata della progettazione. Uno studio di screening LCA può servire, quindi, per elaborare una panoramica iniziale degli impatti ambientali di un prodotto o di un edificio.

Generalmente, uno screening LCA è elaborata in un contesto nazionale e utilizza o i dati specifici di un paese o i dati medi tuttavia non sempre è possibile reperire informazioni relative alla nazione da cui proviene il prodotto o il materiale in sistema, motivo per il quale vengono spesso utilizzati dati globali medi o di un contesto simile (nazione limitrofa, con caratteristiche comparabili). I dati sono rappresentativi non solo per l'area geografia del sistema, ma devono anche riflettere, nel modo più esemplare, i limiti di tempo e budget e la tecnologia utilizzata dell'edificio o del prodotto. Rispetto agli altri tipi di valutazione, uno screening è quindi basato su assunzioni e valori predefiniti (nazionale, europei, globali) che si stabiliscono sulla base degli obiettivi e degli scopi; per quanto riguarda le fonti di impatto relative all'energia, è preferibile utilizzare dati nazionali poiché più veritieri.

In sintesi, per compiere uno studio LCA screening è necessario:

- definire l'obiettivo, la portata, i confini del sistema
- dichiarare il grado di approssimazione e incertezza dei dati
- specificare quali fasi del ciclo vengono considerate e quali materiali
- scegliere le categorie di impatto rilevanti per lo studio
- interpretare ed analizzare i risultati ottenuti dallo studio. ²

Nel paragrafo successivo viene riportata la valutazione LCA screening del sistema parete di tre materiali: cappotto in lana di vetro, con pannelli isolanti sottovuoto e con isolanti termoriflettenti stratificati. L'obiettivo è quello di poterle paragonare relativamente agli impatti lungo l'intero ciclo di vita, applicandoli ad un edificio residenziale a Madrid.

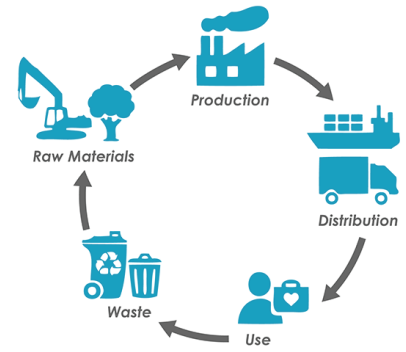


Foto 4.2
LCA - Life Cycle Assessment, metodologia per analizzare l'impatto ambientale di un materiale lungo tutto il ciclo di vita.

² EeB Guide Guidance Document. Part B Buildings. Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative.

4.2 LCA SCREENING: IL CASO STUDIO DI MADRID

4.2.1 Valutazione LCA Screening relativa a un edificio residenziale a Madrid

³ Il progetto presentato nella fase di competizione si concentra su diversi temi:

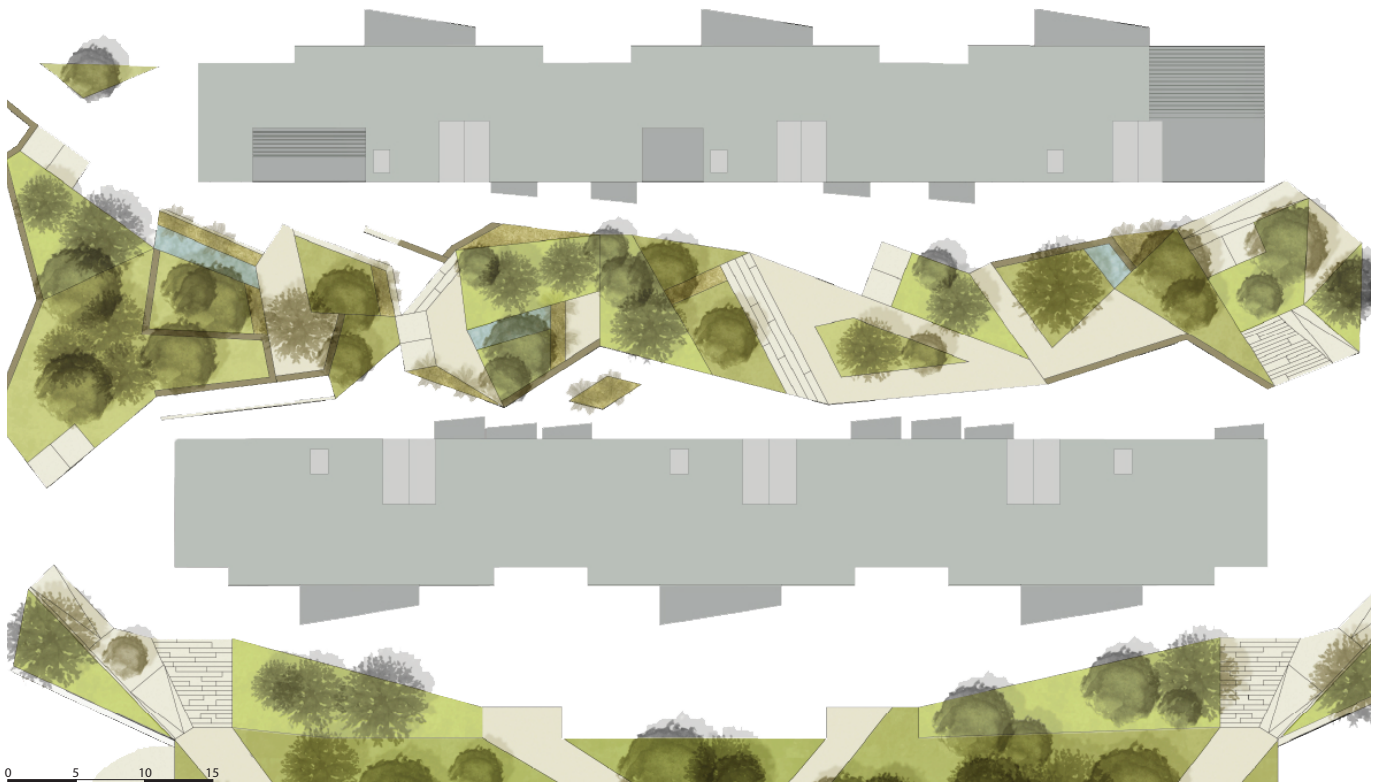
- Sistema di spazi aperti nella piazza centrale (scale, rampe, specchi d'acqua e verde urbano);
- Accessibilità risolta con il progetto di un nuovo sistema di scale e rampe e disponendo di un ascensore all'interno di ogni edificio (percepibile in facciata dalla diversità del materiale di rivestimento);
- Tema dell'aria: inserimento torri del vento lungo la direzione principale dei venti in modo da garantire ventilazione naturale;
- Inserimento di terrazzi a sbalzo (sia a nord che a sud) con taglio studiato per la captazione del vento;
- Aperture esistenti modificate in base alla necessità degli ambienti interni di aria e luce naturale;
- Sono stati applicati materiali isolanti differenti alle partizioni orizzontali, compresa la copertura e verticali, per garantire il comfort termico e acustico richiesto;
- Infine, dal calcolo della domanda annua di calore, delle perdite e dei guadagni termici dell'edificio (software MCD), abbiamo garantito, come da consegna, l'ascesa di due classi energetiche.

Lo studio LCA screening di seguito riportato riguarda un progetto di riqualificazione di un edificio residenziale a Madrid; nel 2017 è stato pubblicato un concorso dalla ditta Saint-Gobain con l'obiettivo di riqualificare due corpi di fabbrica e l'area interposta ad essi nel centro della capitale spagnola.

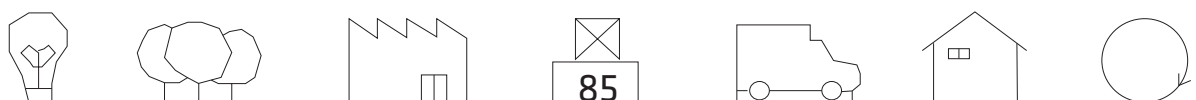
Il progetto avrebbe dovuto perseguire cinque obiettivi specifici:

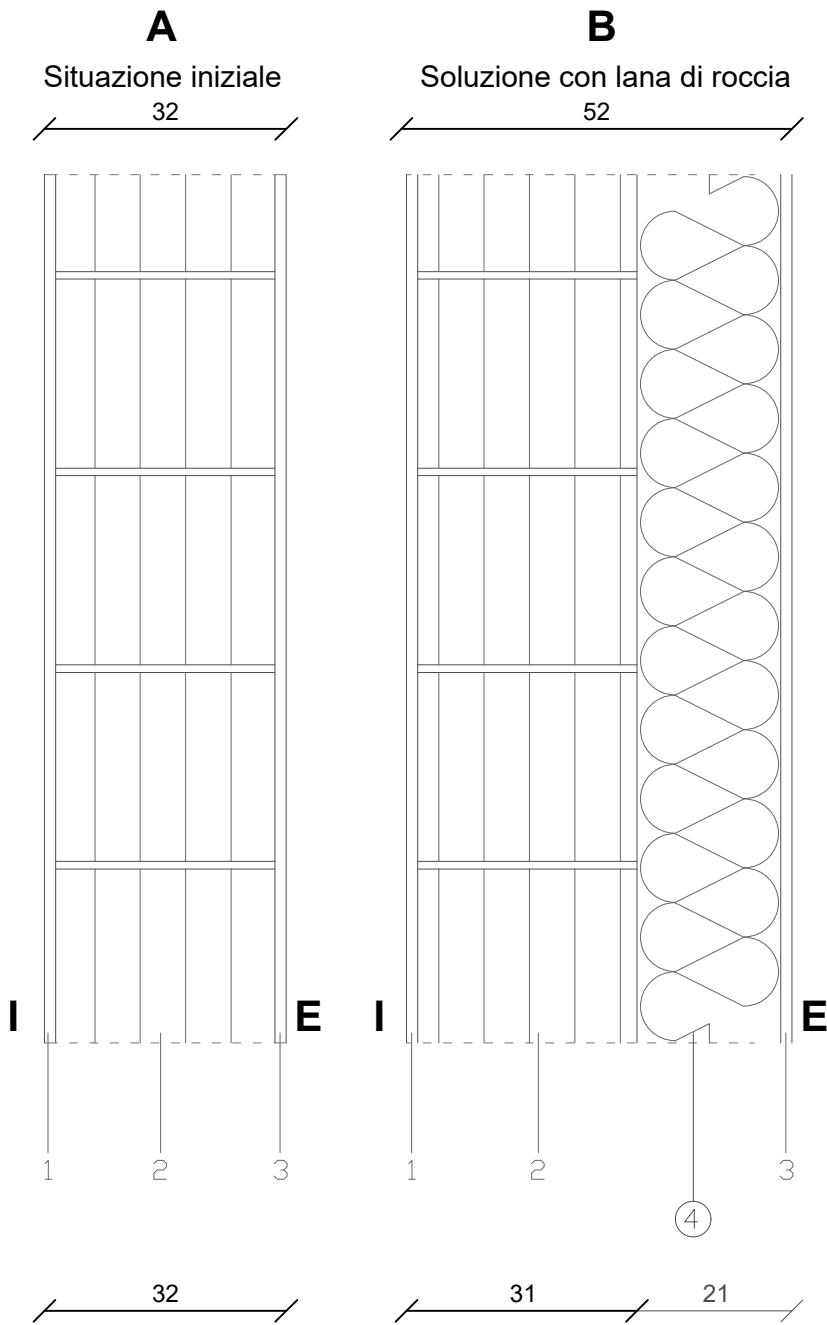
- una nuova accessibilità (progettazione di scale, ascensori e rampe);
- miglioramento del comfort termico (riducendo la domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, almeno di due classi di efficienza);
- miglioramento del comfort visivo (aumentare la superficie finestrata per un maggior utilizzo della luce naturale);
- miglioramento della qualità dell'aria (mantenendo un livello costante di aria fresca)
- miglioramento del comfort acustico (riducendo il livello del rumore all'interno degli appartamenti e dalle fonti esterne).³

Uno degli aspetti su cui si è concentrato il progetto è stato il miglioramento delle prestazioni termiche dell'edificio, motivo per il quale è stato scelto di applicare un cappotto esterno in lana di vetro di 19 cm di spessore (la parete esterna era, inizialmente, composta semplicemente da mattoni forati 30x25x29 cm, rivestiti sia esternamente che internamente da intonaco di calce e gesso). L'obiettivo è stato perseguito, tuttavia lo spessore dell'isolante è risultato notevole rispetto al sistema parete; allo stesso progetto, dunque, è stato successivamente applicato un cappotto esterno con pannelli VIP e, infine, un cappotto esterno con materiali isolanti termoriflettenti (rispettivamente 3,6 cm e 3,0 cm). Gli spessori sono stati calcolati a parità di prestazione: la trasmittanza termica dei tre sistemi parete è pari a 0,19 W/mqK. ⁴



Masterplan di progetto: due fabbricati residenziali con piazza verde interposta; la superficie complessiva dei due blocchi è 3465 mq.





TRASMITTANZA
 $U = 1.77 \text{ W/mqK}$

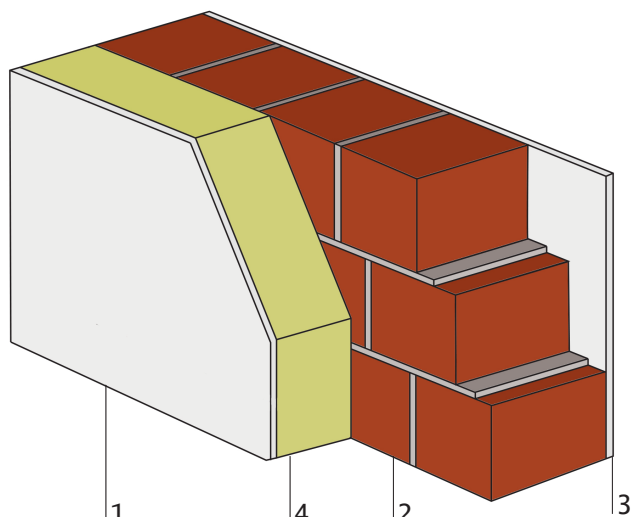
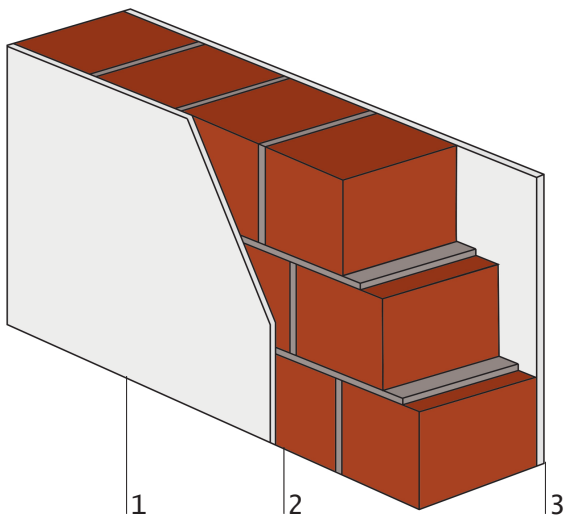
TRASMITTANZA
 $U = 0.19 \text{ W/mqK}$

Materiale		Spessore (m)	Conducibilità termica λ (W/mK)
1	Intonaco interno	0.015	0.95
2	Mattoni	0.29	0.85
3	Intonaco esterno	0.015	0.95
4	Lana di roccia	0.19	0.037
5	Listelli verticali in legno (interasse 1.5 m)	0.02	0.006
6	Isolante ACTIS Triso Super 10	0.03	
7	Listelli verticali in legno (interasse 1.5 m)	0.02	
8	Doppia lastra di cartongesso	0.025	0.21
9	Colla specifica	0.05	0.21
10	Pannello isolante sottovuoto (VIP) + listelli verticali in legno 1.00 x 1.50 m	0.036	0.007
		0.035	

⁴ DETTAGLI COSTRUTTIVI SCALA 1.10
 ASSONOMETRIA PARETE ESTERNA

Situazione A: parete esterna esistente di 32 cm, rivestita con intonaco di calce e gesso sia internamente che esternamente. Il valore di trasmittanza è di 1,77 W/mqK.

Situazione B, con isolante in lana di vetro: parete esterna di 52 cm. Applicazione di un cappotto esterno di 19 cm di spessore, rivestito con intonaco di calce e gesso. Il valore di trasmittanza è 0.19 W/mqK.

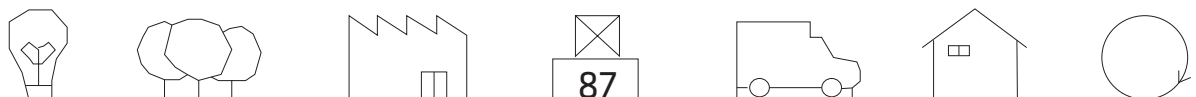
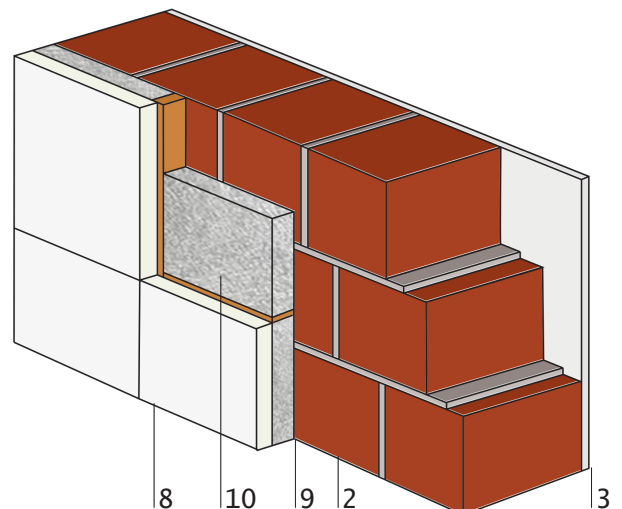
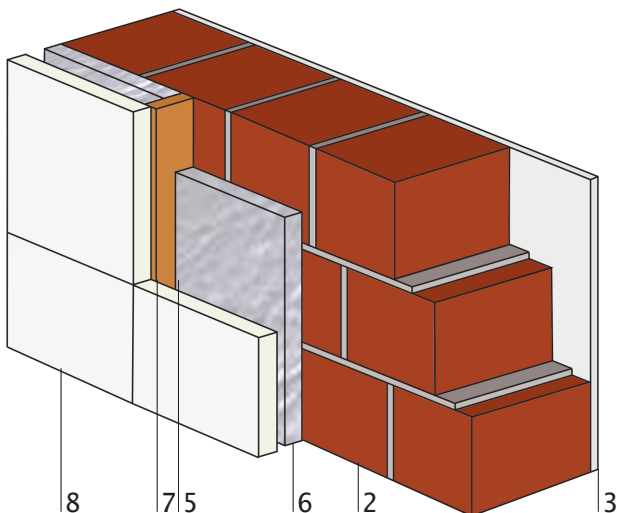
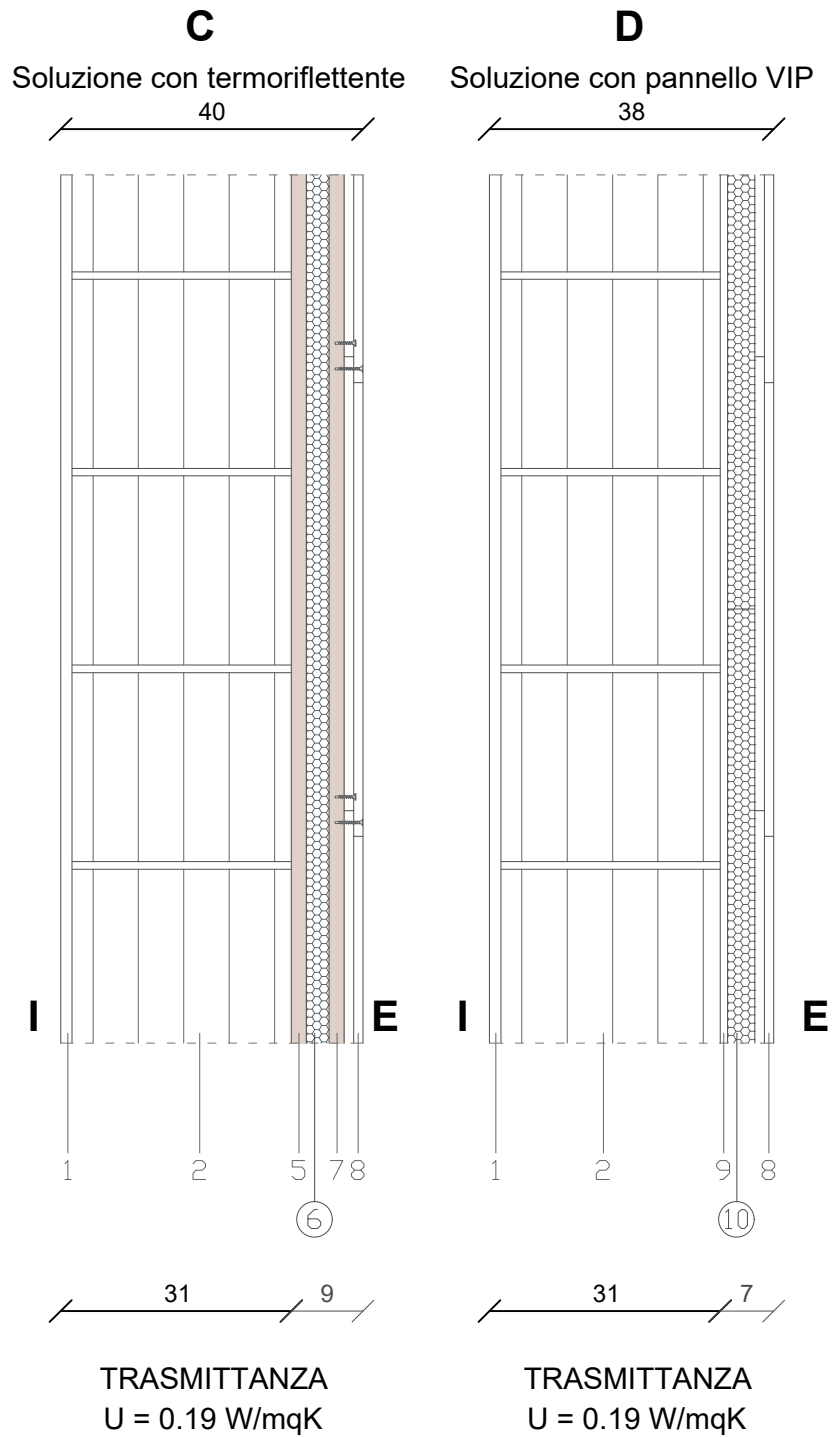


	Materiale	Spessore (m)	Conducibilità termica λ (W/mK)
1	Intonaco interno	0.015	0.95
2	Mattoni	0.29	0.85
3	Intonaco esterno	0.015	0.95
4	Lana di roccia	0.19	0.037
5	Listelli verticali in legno (interasse 1.5 m)	0.02	0.006
6	Isolante ACTIS Triso Super 10	0.03	
7	Listelli verticali in legno (interasse 1.5 m)	0.02	
8	Doppia lastra di cartongesso	0.025	0.21
9	Colla specifica	0.05	0.21
10	Pannello isolante sottovuoto (VIP) + listelli verticali in legno 1.00 x 1.50 m	0.036 0.035	0.007

⁴ DETTAGLI COSTRUTTIVI SCALA 1:10
ASSONOMETRIA PARETE ESTERNA

Situazione C, con isolante termoriflettente stratificato Actis Triso Super 10: parete esterna di 40 cm. Applicazione di un cappotto esterno di 3 cm di spessore, rivestito con pannelli di cartongesso applicati su orditura lignea. Il valore di trasmittanza è 0.19 W/mqK.

Situazione D, pannello VIP Porextherm: parete esterna di 38 cm. Applicazione di un cappotto esterno di 3.6 cm di spessore, rivestito con pannelli di cartongesso applicati su orditura lignea. Il valore di trasmittanza è 0.19 W/mqK.



Assumendo che i tre materiali abbiano la stessa durata dell'edificio, senza perdere le proprie prestazioni termiche, le tre diverse applicazioni mostrano risultati differenti:

- le tabelle iniziali (1-8) mostrano i dati di partenza di ciascun materiale, con relative fonti ed eventuali assunzioni prese nella prima fase di calcolo (fattore di conversione K): lana di vetro, pannelli VIP Porextherm, isolante termoriflettente Actis Triso Super 10, mattoni forati, intonaco di calce e gesso, cartongesso, listelli di supporto in legno;
- le tabelle successive (9-16) hanno invece come obiettivo quello di mostrare e confrontare gli impatti durante alcune fasi di vita di ciascun prodotto: la fase di produzione (A1-A3), la fase di trasporto (A4), la fase di installazione (A5), la fase d'uso (B1-B7) e la fase di fine vita e smaltimento dei rifiuti (C1-C4); la fase d'uso è considerata pari a 0 in tutti i materiali.

Gli indicatori ⁵ di impatto presi in considerazione per ciascuna delle fasi sono:

- il potenziale riscaldamento globale (GWP), espresso in kg CO2 eq.;
- potenziale di esaurimento dello strato di ozono (ODP), espresso in kg CFC11 eq.;
- potenziale di acidificazione (AP), espresso in kg SO2 eq.;
- potenziale di eutrofizzazione (EP), espresso in kg (PO4)³⁻ eq.;
- potenziale di creazione di ozono fotochimico (POCP), espresso in kg Etilene eq.;
- potenziale di esaurimento abiotico (ADPE), espresso in kg Sb eq.;
- potenziale di esaurimento abiotico per risorse fossili (ADPF), espresso in MJ;
- energia primaria rinnovabile (PERT), espresso in MJ;
- energia primaria non rinnovabile (PENRT), espresso in MJ;
- utilizzo di acqua fresca (FW), espresso in m³.

- ⁵- GWP: esprime il contributo all'effetto serra di un gas serra, riportandolo alla quantità di CO2 equivalente;
- ODP: esprime il valore di degrado della fascia di ozono che il triclorofluorometano (R-11) causa;
- AP: indica la tendenza di un elemento a diventare acido, valore in rapporto al potenziale di acidificazione del biossido di zolfo (SO2);
- EP: contributo di una sostanza, contenente azoto o fosforo, alla produzione di biomassa;
- POCP: contributo dei gas organici nocivi alla formazione di ozono fotochimico (etilene come sostanza di riferimento);
- ADPE: esprime il consumo di risorse abiotiche, riportando il valore alla quantità di antimonio (Sb) equivalente;
- ADPF: il valore di energia (espresso in MJ) prodotto dal consumo delle risorse fossili;
- PERT: il valore di energia primaria (espresso in MJ) prodotto da fonti rinnovabili;
- PENRT: il valore di energia primaria (espresso in MJ) prodotto da fonti non rinnovabili;
- FW: esprime il valore della quantità (mc) d'acqua fresca utilizzata.

DATI PROGETTO MADRID - Riquilifica di due edifici residenziali			
LANA DI VETRO	Impatto fasi A1-A3	Dato da EPD	
	Impatto fase A4	Dato da EPD	
	Impatto fase A5	Dato da EPD	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽⁵⁾	
	Impatto fase C1	Impatto = 0 ⁽⁶⁾	
	Impatto fasi C2-C4	Dato da EPD	
	Superficie cappotto	3.465,00	mq
	Volume Unità Funzionale da EPD (F.U.)	1,000	mc
	Volume Unità Funzionale (parità di prestazione)	0,190	mc
	Volume cappotto (parità prestazione)	658,35	mc
	Fattore di conversione K	658,35	/
	Massa lana di vetro (F.U.)	16,30	kg
	Massa lana di vetro (parità di prestazione)	3,10	kg
	Massa totale lana di vetro (parità di prestazione)	10.731,11	kg
Raggio di consegna media	200	km	

Tabella 1. Dati iniziali dell'isolante in lana di vetro, Glaswolle Isover. Tutti i dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento; l'unità di riferimento impostata a parità di prestazione ha dimensioni 1 x 1 x 0,19 m; queste garantiscono un valore di trasmittanza pari a 0,19 w/mqK.

DATI PROGETTO MADRID - Riquilifica di due edifici residenziali			
VIP	Impatto fasi A1-A3	Dato da EPD	
	Impatto fase A4	Dato da EPD	
	Impatto fase A5	2% delle fasi A1-A3 ⁽⁴⁾	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽⁵⁾	
	Impatto fase C1	Impatto = 0 ⁽⁶⁾	
	Impatto fasi C2-C4	Dato da EPD	
	Superficie cappotto	3.465,00	mq
	Volume Unità Funzionale da EPD (F.U.)	0,025	mc
	Volume Unità Funzionale (parità di prestazione)	0,036	mc
	Volume cappotto (parità prestazione)	124,74	mc
	Fattore di conversione K	4.989,60	/
	Massa pannello VIP (F.U.)	4,50	kg
	Massa pannello VIP (parità di prestazione)	6,48	kg
	Peso totale pannelli VIP (parità di prestazione)	22.453,20	kg
Distanza Cantiere - Ditta Reyma, Bilbao (E)	450,00	km	

Tabella 2. Dati iniziali pannello VIP Vacupor Porextherm. I dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento (escluse fasi A4-A5); l'unità di riferimento impostata a parità di prestazione ha dimensioni 1 x 1 x 0,036 m; queste garantiscono un valore di trasmittanza pari a 0,19 w/mqK.

DATI PROGETTO MADRID - Riquilifica di due edifici residenziali			
TERMORIFLETTENTI	Impatto fasi A1-A3	Dato ricavato da EPD ⁽⁷⁾	
	Impatto fase A4	Dato ricavato da EPD ⁽⁸⁾	
	Impatto fase A5	Dato ricavato da EPD ⁽⁹⁾	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽⁵⁾	
	Impatto fase C1	Impatto = 0 ⁽⁶⁾	
	Impatto fasi C2-C4	Dato ricavato da EPD ⁽¹⁰⁾	
	Superficie cappotto	3.465,00	mq
	Volume Unità Funzionale da EPD (F.U.)	0,035	mc
	Volume Unità Funzionale (parità di prestazione)	0,030	mc
	Volume cappotto (parità prestazione)	103,95	mc
	Fattore di conversione K	2.970,00	/
	Massa isolante termoriflettente (F.U.)	0,75	kg
	Massa isolante termoriflettente (parità di prestazione)	0,64	kg
	Massa totale isolante termoriflettenti (parità di prestazione)	2.227,50	kg
Distanza Cantiere - Ditta Actis, Limoux (F)	800	km	

Tabella 3. Dati iniziali dell'isolante termoriflettente stratificato Actis Triso Super 10. Tutti i dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento; l'unità di riferimento impostata a parità di prestazione ha dimensioni 1 x 1 x 0,03 m; queste garantiscono un valore di trasmittanza pari a 0,19 w/mqK.

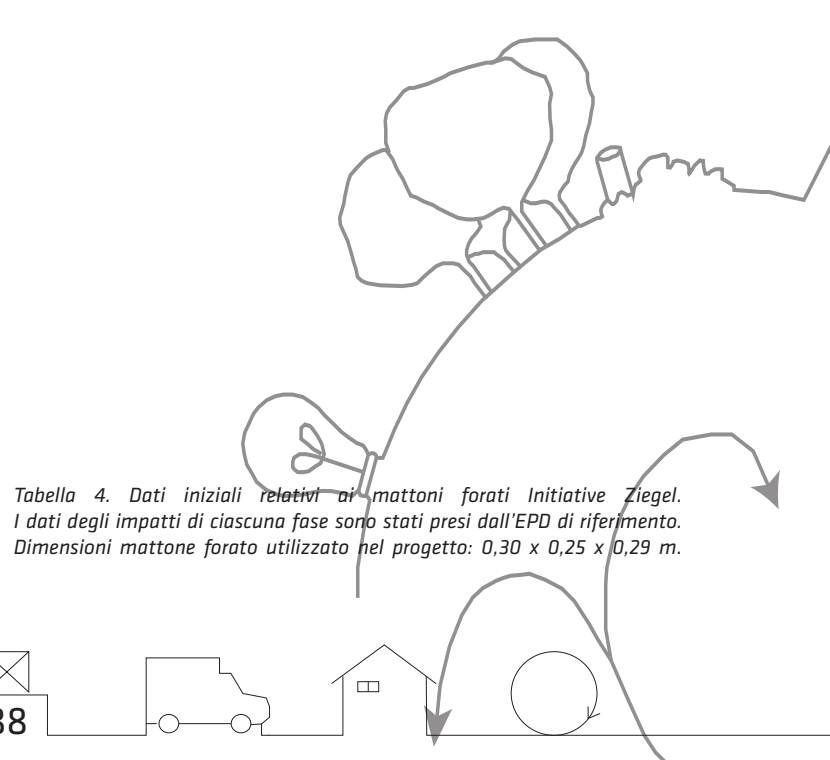


Tabella 4. Dati iniziali relativi ai mattoni forati Initiative Ziegel. I dati degli impatti di ciascuna fase sono stati presi dall'EPD di riferimento. Dimensioni mattone forato utilizzato nel progetto: 0,30 x 0,25 x 0,29 m.

DATI PROGETTO MADRID - Riqualifica di due edifici residenziali			
CARTONGESSO IN LASTRE (doppia lastra)	Impatto fasi A1-A3	Dato da EPD	
	Impatto fase A4	Dato da EPD	
	Impatto fase A5	Dato da EPD	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽²⁾	
	Impatto fasi C1-C4	Dato da EPD	
	Superficie cappotto	3.465,00	m ²
	Volume Unità Funzionale da EPD (F.U.)	0,0125	mc
	Numero lastre applicate	2,0	/
	Volume doppia lastra	0,025	mc
	Volume totale	86,625	mc
	Densità cartongesso	704,00	kg/mc
	Massa totale	60.984,00	kg
	Fattore di conversione K	3.465,00	/
	Raggio di consegna medio	227,00	km

Tabella 5. Dati iniziali del cartongesso Gyproc Normal-Standard Plasterboard. Tutti i dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento. Viene utilizzata nel progetto una doppia lastra di cartongesso.

DATI PROGETTO MADRID - Riqualifica di due edifici residenziali			
INTONACO DI CALCE E GESSO	Impatto fasi A1-A3	Dato da EcolInvent 3.3	
	Impatto fase A4	Dato da EeBGuide	
	Impatto fase A5	2% delle fasi A1-A3 ⁽⁴⁾	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽²⁾	
	Impatto fasi C1-C4	Dato da EcolInvent 3.3	
	Superficie totale	3.465,00	m ²
	Spessore intonaco	0,015	m
	Volume Unità Funzionale (F.U.)	0,015	mc
	Volume totale intonaco	51,98	mc
	Densità intonaco	1.400,00	kg/mc
	Massa Intonaco (F.U.)	21,00	kg
	Massa totale intonaco	72.765,00	kg
	Fattore di conversione K	3.465,00	/
	Raggio di consegna medio	300,00	km

Tabella 6. Dati iniziali intonaco di calce e gesso. I dati sono stati reperiti dall'inventario EcolInvent 3.3 e dall'EeBGuide - Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative.

DATI PROGETTO MADRID - Riqualifica di due edifici residenziali			
LISTELLI IN LEGNO (SUPPORTO VIP)	Impatto fasi A1-A3	Dato da EPD	
	Impatto fase A4	Dato da EPD	
	Impatto fase A5	Dato da EPD	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽²⁾	
	Impatto fasi C1-C4	Dato da EPD	
	Altezza edificio	11,00	m
	Perimetro edificio	315,00	m
	Numero listelli orizzontali - interasse 1.50	8,33	/
	Numero listelli verticali - interasse 1.50 m	211,00	/
	Volume F.U. da EPD	1,00	mc
	Volume totale elemento verticale	0,022	mc
	Volume totale elemento orizzontale	0,630	mc
	Fattore di conversione K	9,89	/
	Raggio di consegna media	50	km

Tabella 7. Dati iniziali del legno, Glue Laminated Timber Sorlaminering. Tutti i dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento. I pannelli VIP hanno un supporto in listelli di legno (maglia 1 x 1,50 m).

DATI PROGETTO MADRID - Riqualifica di due edifici residenziali			
LISTELLI IN LEGNO (SUPPORTO TERMORIFLETTENTI)	Impatto fasi A1-A3	Dato da EPD	
	Impatto fase A4	Dato da EPD	
	Impatto fase A5	Dato da EPD	
	Impatto fase B1-7	Impatto = 0 ⁽²⁾	
	Impatto fasi C1-C4	Dato da EPD	
	Altezza edificio	11,00	m
	Perimetro edificio	315,00	m
	Superficie edificio	3.465,00	m ²
	Numero listelli verticali - interasse 1.50 m	211,00	/
	Densità legno	470,00	kg/mc
	Volume F.U. da EPD	1,00	mc
	Volume totale elemento verticale	0,022	mc
	Fattore di conversione K	4,64	/
	Raggio di consegna media	50	km

Tabella 8. Dati iniziali del legno, Glue Laminated Timber Sorlaminering. Tutti i dati degli impatti sono stati presi dall'EPD di riferimento. I materiali termoriflettenti hanno un supporto in listelli verticali (interasse 1,50 m).

NOTE:
⁽¹⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,025 m). Fonte: <i>Environmental Product Declaration. Vacupor, Porextherm</i> . Morgan Advanced Materials, consultato il 15-2-2018, www.bau-umwelt.com .
⁽²⁾ K=fattore di conversione; K=Volume cappotto a parità di prestazione/Volume F.U. ⁽¹⁾ ; (vedi tabelle DATI PROGETTO MADRID).
⁽³⁾ Il kilometraggio del materiale è di 450 km per 15,59 tonnellate di pannelli VIP (vedi tabella DATI PROGETTO MADRID). Il dato per 1 tkm è considerato per trasporto su camion EURO5, 16-32 tonnellate.
⁽⁴⁾ Per la fase A5, è stato calcolato il 2% del relativo impatto nella fase di produzione (A1-A3). Fonte: Scheuer, Keoleian, Reppe, 2003. <i>Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. Energy and Buildings 35</i> , 1049-1064.
⁽⁵⁾ La fase d'uso (B1-B7) è stata considerata nulla assumendo che i VIP e i Termoriflettenti "nascono" e "muoiono" con l'edificio stesso, senza subire sostituzioni o manutenzione. Condizioni d'uso ricavate dalle rispettive EPD: "I componenti non sono soggetti ad alcuna modifica se applicati correttamente".
⁽⁶⁾ La fase di disassemblaggio (C1) è stata considerata nulla assumendo le indicazioni delle EPD. In entrambi i casi, infatti, viene riportata la sigla MND, ossia "Modulo non dichiarato".
⁽⁷⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,035 m). I dati sono stati calcolati sulla base delle emissioni di Diossido di Carbonio (CO2); la percentuale delle emissioni in questa fase (A1-A3) rispetto l'intero ciclo di vita è del 79% sul totale; fonte: <i>Environmental Product Declaration. Actis Triso Super 10</i> . EcoEff, consultato il 15-2-2018, www.insulationsuperstore.co.uk
⁽⁸⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,035 m). I dati sono stati calcolati sulla base delle emissioni di Diossido di Carbonio (CO2); la percentuale delle emissioni in questa fase (A4) rispetto l'intero ciclo di vita è del 2,5% sul totale; fonte: <i>Environmental Product Declaration. Actis Triso Super 10</i> . EcoEff, consultato il 15-2-2018, www.insulationsuperstore.co.uk
⁽⁹⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,035 m). I dati sono stati calcolati sulla base delle emissioni di Diossido di Carbonio (CO2); la percentuale delle emissioni in questa fase (A5) rispetto l'intero ciclo di vita è del 1,0% sul totale; fonte: <i>Environmental Product Declaration. Actis Triso Super 10</i> . EcoEff, consultato il 15-2-2018, www.insulationsuperstore.co.uk
⁽¹⁰⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,035 m). I dati sono stati calcolati sulla base delle emissioni di Diossido di Carbonio (CO2); la percentuale delle emissioni in questa fase (C2-C4) rispetto l'intero ciclo di vita è del 17,5% sul totale; fonte: <i>Environmental Product Declaration. Actis Triso Super 10</i> . EcoEff, consultato il 15-2-2018, www.insulationsuperstore.co.uk
⁽¹¹⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 1 m). Fonte: <i>Environmental Product Declaration. Isolanti Minerali in lana di vetro</i> . Saint Gobain Isover Austria, consultato il 15-3-2018, www.bau-umwelt.com .
⁽¹²⁾ F.U: unità funzionale da EPD, 1.0000 kg. Fonte: <i>Environmental Product Declaration. Mattoni per pareti e controsoffitti</i> . Ziegel, Vienna, Austria, consultato il 20-3-2018, www.bau-umwelt.com .
⁽¹³⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 0,0125 m), moltiplicata x2 (numero di lastre necessarie). Fonte: <i>Environmental Product Declaration. Gyproc Normal, Standard Plasterboard</i> . Gyproc, Saint Gobain, consultato il 15-2-2018, www.bau-umwelt.com .
⁽¹⁴⁾ K=fattore di conversione; (vedi tabelle DATI PROGETTO MADRID).
⁽¹⁵⁾ F.U: unità funzionale intonaco, 1,00 kg. Fonte: <i>EcolInvent 3.3</i> .
⁽¹⁶⁾ F.U: unità funzionale da EPD (1 x 1 x 1 m). Fonte: <i>Environmental Product Declaration. Standard Limtrebjelke</i> . Sorlaminering AS, Oslo, consultato il 20-3-2018, epd.norge.no .
⁽¹⁷⁾ Il kilometraggio del materiale è di 300 km per 72,77 tonnellate di INTONACO (vedi tabella DATI PROGETTO MADRID). Il dato per 1 tkm è considerato per trasporto su camion EURO5, 16-32 tonnellate.

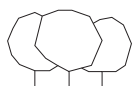
Tabella NOTE: sono riportati gli aspetti specifici dei calcoli inseriti nelle tabelle 1-16, pag. 88-97; vengono inoltre trascritte le fonti dalle quali i dati iniziali sono stati reperiti. Dalle EPD di ciascun materiale, abbiamo ricavato il valore dell'unità funzionale (F.U.) e successivamente calcolato il fattore di conversione.

ISOLANTE IN LANA DI VETRO SAINT GOBAIN - ISOVER

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. (¹¹)	K (²)	dato totale	dato per F.U. (¹¹)	K (²)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	3,19E+01	658,35	2,10E+04	1,54E+00	658,35	1,01E+03
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	3,38E-06	658,35	2,23E-03	1,91E-07	658,35	1,26E-04
Acidification potential	kg SO2-eq	8,86E-02	658,35	5,83E+01	7,63E-03	658,35	5,02E+00
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	5,31E-02	658,35	3,50E+01	1,87E-03	658,35	1,23E+00
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	7,66E-02	658,35	5,04E+01	1,44E-02	658,35	9,49E+00
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	3,46E-03	658,35	2,28E+00	6,31E-06	658,35	4,15E-03
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	4,78E+02	658,35	3,15E+05	2,00E+01	658,35	1,32E+04
Renewable primary energy	MJ	9,22E+01	658,35	6,07E+04	3,42E-01	658,35	2,25E+02
Non-renewable primary energy	MJ	5,43E+02	658,35	3,57E+05	2,16E+01	658,35	1,42E+04
Use of net fresh water	m ³	4,58E-02	658,35	3,02E+01	6,70E-04	658,35	4,41E-01

PANNELLO ISOLANTE VACUPOR - DITTA POREXTHERM

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4 (³)			
		dato per F.U. (¹)	K (²)	dato totale	km	t	dato per 1 tkm	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	4,22E+01	4.989,6	2,11E+05	450	15,59	1,63E-01	1,14E+03
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	4,22E-09	4.989,6	2,11E-05	450	15,59	3,08E-08	2,16E-04
Acidification potential	kg SO2-eq	1,46E-01	4.989,6	7,28E+02	450	15,59	5,26E-04	3,69E+00
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	1,64E-02	4.989,6	8,18E+01	450	15,59	1,16E-04	8,14E-01
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	1,27E-02	4.989,6	6,34E+01	450	15,59	2,67E-05	1,87E-01
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	2,00E-03	4.989,6	9,98E+00	450	15,59	2,61E+00	1,83E+04
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	6,47E+02	4.989,6	3,23E+06	450	15,59	4,48E-07	3,14E-03
Renewable primary energy	MJ	2,88E+02	4.989,6	1,44E+06	450	15,59	3,55E-02	2,49E+02
Non-renewable primary energy	MJ	7,29E+02	4.989,6	3,64E+06	450	15,59	2,68E+00	1,88E+04
Use of net fresh water	m ³	4,31E-01	4.989,6	2,15E+03	450	15,59	4,75E-04	3,33E+00

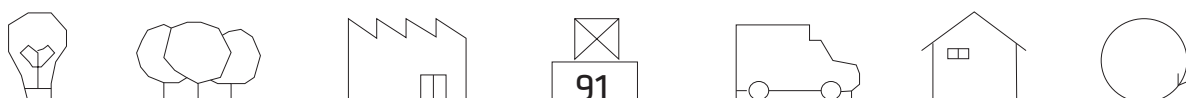


ISOLANTE IN LANA DI VETRO SAINT GOBAIN - ISOVER							
FASE A5			FASE B1-B7 ⁽⁵⁾	FASE C1 ⁽⁶⁾	FASE C2-C4		
dato per F.U. ⁽¹¹⁾	K (²)	dato totale			dato per F.U. ⁽¹¹⁾	K (²)	dato totale
2,67E+01	658,35	1,76E+04	0	0	1,65E-01	658,35	1,09E+02
1,72E-07	658,35	1,13E-04	0	0	4,29E-08	658,35	2,82E-05
4,59E-03	658,35	3,02E+00	0	0	9,59E-04	658,35	6,31E-01
2,87E-03	658,35	1,89E+00	0	0	2,39E-04	658,35	1,57E-01
4,13E-03	658,35	2,72E+00	0	0	1,76E-03	658,35	1,16E+00
1,73E-04	658,35	1,14E-01	0	0	4,58E-07	658,35	3,02E-04
2,42E+01	658,35	1,59E+04	0	0	3,66E+00	658,35	2,41E+03
4,61E+00	658,35	3,03E+03	0	0	3,35E-02	658,35	2,21E+01
2,75E+01	658,35	1,81E+04	0	0	3,81E+00	658,35	2,51E+03
2,36E-03	658,35	1,55E+00	0	0	3,38E-04	658,35	2,23E-01

Tabella 9. LCA screening relativo all'isolante in lana di vetro; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di un cappotto esterno spesso 19 cm su una superficie di 3465 mq.

PANNELLO ISOLANTE VACUPOR - DITTA POREXTHERM							
FASE A5 ⁽⁴⁾			FASE B1-B7 ⁽⁵⁾	FASE C1 ⁽⁶⁾	FASE C2-C4		
dato totale fasi A1-A3		dato totale			dato per F.U. ⁽¹⁾	K (²)	dato totale
2,11E+05	2,00%	4,21E+03	0	0	1,05E+00	4.989,6	5,24E+03
2,11E-05	2,00%	4,21E-07	0	0	3,05E-11	4.989,6	1,52E-07
7,28E+02	2,00%	1,46E+01	0	0	1,07E-03	4.989,6	5,35E+00
8,18E+01	2,00%	1,64E+00	0	0	1,45E-04	4.989,6	7,22E-01
6,34E+01	2,00%	1,27E+00	0	0	-2,18E-05	4.989,6	-1,09E-01
9,98E+00	2,00%	2,00E-01	0	0	1,57E-07	4.989,6	7,83E-04
3,23E+06	2,00%	6,45E+04	0	0	5,40E+00	4.989,6	2,69E+04
1,44E+06	2,00%	2,87E+04	0	0	1,17E+00	4.989,6	5,84E+03
3,64E+06	2,00%	7,27E+04	0	0	7,04E+00	4.989,6	3,51E+04
2,15E+03	2,00%	4,30E+01	0	0	2,97E-03	4.989,6	1,48E+01

Tabella 10. LCA screening relativo ai pannelli isolanti VIP; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di un cappotto esterno spesso 3,6 cm su una superficie di 3465 mq.

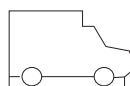
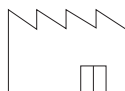
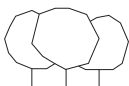


ISOLANTE TERMORIFLETTENTE TRISO SUPER 10 - DITTA ACTIS

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. (7)	K (2)	dato totale	dato per F.U. (8)	K (2)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	3,21E+00	2.970	9,53E+03	1,02E-01	2.970	3,02E+02
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	2,09E-07	2.970	6,22E-04	6,63E-09	2.970	1,97E-05
Acidification potential	kg SO2-eq	1,00E-02	2.970	2,98E+01	3,18E-04	2.970	9,43E-01
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	1,11E-04	2.970	3,28E-01	3,50E-06	2.970	1,04E-02
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	5,59E-04	2.970	1,66E+00	1,77E-05	2.970	5,25E-02
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	2,53E-02	2.970	7,51E+01	8,00E-04	2.970	2,38E+00
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	/	/	/	/	/	/
Renewable primary energy	MJ	3,51E+00	2.970	1,04E+04	1,11E-01	2.970	3,30E+02
Non-renewable primary energy	MJ	6,20E+01	2.970	1,84E+05	1,96E+00	2.970	5,83E+03
Use of net fresh water	m ³	5,14E+00	2.970	1,53E+04	1,63E-01	2.970	4,83E+02

MATTONI FORATI - ZIEGEL

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. (12)	(K ¹⁴)	dato totale	dato per F.U. (12)	(K ¹⁴)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	1,73E+02	723,31	1,25E+05	4,14E+00	723,31	2,99E+03
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	1,75E-05	723,31	1,27E-02	5,12E-07	723,31	3,70E-04
Acidification potential	kg SO2-eq	3,03E-01	723,31	2,19E+02	2,22E-02	723,31	1,61E+01
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	1,12E-01	723,31	8,10E+01	6,36E-03	723,31	4,60E+00
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	4,17E-02	723,31	3,02E+01	2,10E-03	723,31	1,52E+00
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	5,66E-05	723,31	4,09E-02	3,40E-07	723,31	2,46E-04
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	2,00E+03	723,31	1,45E+06	5,61E+01	723,31	4,06E+04
Renewable primary energy	MJ	5,08E+02	723,31	3,67E+05	1,39E-01	723,31	1,01E+02
Non-renewable primary energy	MJ	2,04E+03	723,31	1,48E+06	5,69E+01	723,31	4,12E+04
Use of net fresh water	m ³	/	/	/	/	/	/

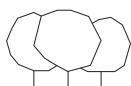


ISOLANTE TERMORIFLETTENTE TRISO SUPER 10 - DITTA ACTIS							
FASE A5			FASE B1-B7 (°5)	FASE C1 (°6)	FASE C2-C4		
dato per F.U. (°9)	K (°2)	dato totale			dato per F.U. (°10)	K (°2)	dato totale
4,06E-02	2.970	1,21E+02	0	0	7,11E-01	2.970	2,11E+03
2,65E-09	2.970	7,87E-06	0	0	4,64E-08	2.970	1,38E-04
1,27E-04	2.970	3,77E-01	0	0	2,22E-03	2.970	6,60E+00
1,40E-06	2.970	4,16E-03	0	0	2,45E-05	2.970	7,28E-02
7,07E-06	2.970	2,10E-02	0	0	1,24E-04	2.970	3,67E-01
3,20E-04	2.970	9,50E-01	0	0	5,60E-03	2.970	1,66E+01
/	/	/	/	/	/	/	/
4,44E-02	2.970	1,32E+02	0	0	7,77E-01	2.970	2,31E+03
7,85E-01	2.970	2,33E+03	0	0	1,37E+01	2.970	4,08E+04
6,50E-02	2.970	1,93E+02	0	0	1,14E+00	2.970	3,38E+03

Tabella 11. LCA screening relativo all'isolante termoriflettente; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di un cappotto esterno spesso 3 cm su una superficie di 3465 mq.

MATTONI FORATI - ZIEGEL						
FASE A5			FASE B1-B7	FASE C1-C4		
dato per F.U. (°12)	K (°14)	dato totale		dato per F.U. (°12)	K (°14)	dato totale
9,82E+00	723,31	7,10E+03	0	6,24E+00	723,31	4,51E+03
7,30E-09	723,31	5,28E-06	0	1,15E-06	723,31	8,30E-04
1,25E-03	723,31	9,04E-01	0	4,02E-02	723,31	2,91E+01
3,45E-03	723,31	2,50E+00	0	1,14E-02	723,31	8,24E+00
2,49E-04	723,31	1,80E-01	0	6,20E-03	723,31	4,49E+00
1,21E-07	723,31	8,75E-05	0	2,85E-06	723,31	2,06E-03
8,36E-01	723,31	6,05E+02	0	1,10E+02	723,31	7,94E+04
1,79E-02	723,31	1,29E+01	0	6,36E-01	723,31	4,60E+02
9,12E-01	723,31	6,60E+02	0	1,13E+02	723,31	8,18E+04
/	/	/	/	/	/	/

Tabella 12. LCA screening relativo ai mattoni forati; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di mattoni di 30x25x29 cm.

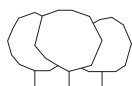


DOPPIA LASTRA DI CARTONGESSO - GYPROC STANDARD PLASTERBOARD

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. ⁽¹³⁾	(K ¹⁴)	dato totale	dato per F.U. ⁽¹³⁾	(K ¹⁴)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	4,40E+00	3.465,00	1,52E+04	2,60E-01	3.465,00	9,01E+02
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	2,80E-07	3.465,00	9,70E-04	1,78E-07	3.465,00	6,17E-04
Acidification potential	kg SO2-eq	1,82E-02	3.465,00	6,31E+01	1,52E-03	3.465,00	5,27E+00
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	2,20E-03	3.465,00	7,62E+00	3,80E-04	3.465,00	1,32E+00
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	1,74E-03	3.465,00	6,03E+00	1,12E-04	3.465,00	3,88E-01
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	8,80E-07	3.465,00	3,05E-03	2,00E-10	3.465,00	6,93E-07
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	7,80E+01	3.465,00	2,70E+05	3,20E+00	3.465,00	1,11E+04
Renewable primary energy	MJ	7,00E+00	3.465,00	2,43E+04	5,60E-03	3.465,00	1,94E+01
Non-renewable primary energy	MJ	8,00E+01	3.465,00	2,77E+05	3,20E+00	3.465,00	1,11E+04
Use of net fresh water	m ³	2,40E-02	3.465,00	8,32E+01	3,00E-04	3.465,00	1,04E+00

INTONACO DI CALCE E GESSO

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4 ⁽¹⁷⁾			
		dato per F.U. ⁽¹⁵⁾	(K ¹⁴)	dato totale	km	t	dato per 1 tkm	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	2,17E-01	3.465,00	7,52E+02	300	72,77	1,63E-01	3,56E+03
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	9,81E-09	3.465,00	3,40E-05	300	72,77	3,08E-08	6,72E-04
Acidification potential	kg SO2-eq	5,24E-04	3.465,00	1,82E+00	300	72,77	5,26E-04	1,15E+01
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	1,69E-04	3.465,00	5,86E-01	300	72,77	1,16E-04	2,53E+00
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	3,21E-05	3.465,00	1,11E-01	300	72,77	2,67E-05	5,83E-01
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	1,20E-07	3.465,00	4,16E-04	300	72,77	2,61E+00	5,70E+04
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	9,83E-01	3.465,00	3,41E+03	300	72,77	4,48E-07	9,78E-03
Renewable primary energy	MJ	2,65E-01	3.465,00	9,18E+02	300	72,77	3,55E-02	7,75E+02
Non-renewable primary energy	MJ	1,44E+00	3.465,00	4,99E+03	300	72,77	2,68E+00	5,85E+04
Use of net fresh water	m ³	1,87E-03	3.465,00	6,48E+00	300	72,77	4,75E-04	1,04E+01

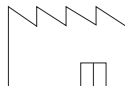
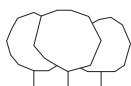


DOPPIA LASTRA DI CARTONGESSO - GYPROC STANDARD PLASTERBOARD						
FASE A5			FASE B1-B7	FASE C1-C4		
dato per F.U. ⁽¹³⁾	(K ¹⁴)	dato totale		dato per F.U. ⁽¹³⁾	(K ¹⁴)	dato totale
2,40E-01	3.465,00	8,32E+02	0	2,04E-01	3.465,00	7,07E+02
3,00E-08	3.465,00	1,04E-04	0	9,44E-08	3.465,00	3,27E-04
1,10E-03	3.465,00	3,81E+00	0	1,27E-03	3.465,00	4,41E+00
1,46E-04	3.465,00	5,06E-01	0	5,91E-04	3.465,00	2,05E+00
9,80E-05	3.465,00	3,40E-01	0	2,00E-04	3.465,00	6,94E-01
3,40E-08	3.465,00	1,18E-04	0	9,83E-09	3.465,00	3,41E-05
4,60E+00	3.465,00	1,59E+04	0	2,70E+00	3.465,00	9,36E+03
6,80E-01	3.465,00	2,36E+03	0	3,82E-02	3.465,00	1,33E+02
4,80E+00	3.465,00	1,66E+04	0	2,76E+00	3.465,00	9,56E+03
2,20E-03	3.465,00	7,62E+00	0	3,16E-04	3.465,00	1,09E+00

Tabella 13. LCA screening per la doppia lastra di cartongesso; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di due lastre con spessore 0,0125 m.

INTONACO DI CALCE E GESSO						
FASE A5 ⁽⁴⁾			FASE B1-B7	FASE C1-C4		
dato totale fasi A1-A3		dato totale		dato per F.U. ⁽¹⁵⁾	(K ¹⁴)	dato totale
7,52E+02	2,00%	1,50E+01	0	3,65E-03	3.465,00	1,26E+01
3,40E-05	2,00%	6,80E-07	0	8,50E-10	3.465,00	2,95E-06
1,82E+00	2,00%	3,63E-02	0	1,65E-05	3.465,00	5,72E-02
5,86E-01	2,00%	1,17E-02	0	4,76E-06	3.465,00	1,65E-02
1,11E-01	2,00%	2,22E-03	0	6,77E-07	3.465,00	2,35E-03
4,16E-04	2,00%	8,32E-06	0	1,08E-08	3.465,00	3,74E-05
3,41E+03	2,00%	6,81E+01	0	5,68E-02	3.465,00	1,97E+02
9,18E+02	2,00%	1,84E+01	0	7,98E-03	3.465,00	2,77E+01
4,99E+03	2,00%	9,98E+01	0	8,70E-02	3.465,00	3,01E+02
6,48E+00	2,00%	1,30E-01	0	3,86E-05	3.465,00	1,34E-01

Tabella 14. LCA screening relativo all'intonaco interno di calce e gesso; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano l'applicazione di uno strato di 1,5 cm.

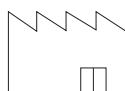
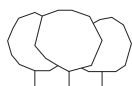


LISTELLI IN LEGNO, SUPPORTO VIP - SORLAMINERUNG AS

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. ⁽¹⁶⁾	(K ¹⁴)	dato totale	dato per F.U. ⁽¹⁶⁾	(K ¹⁴)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	-6,30E+02	9,89	-6,23E+03	1,70E+01	9,89	1,68E+02
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	1,59E-05	9,89	1,58E-04	2,63E-06	9,89	2,60E-05
Acidification potential	kg SO2-eq	5,86E-01	9,89	5,80E+00	2,10E-03	9,89	2,08E-02
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	7,03E-01	9,89	6,95E+00	6,89E-02	9,89	6,82E-01
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	2,37E-01	9,89	2,34E+00	1,84E-02	9,89	1,82E-01
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	2,49E-04	9,89	2,46E-03	4,41E-05	9,89	4,37E-04
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	1,93E+03	9,89	1,91E+04	2,47E+02	9,89	2,45E+03
Renewable primary energy	MJ	1,03E+04	9,89	1,02E+05	3,59E+00	9,89	3,55E+01
Non-renewable primary energy	MJ	2,42E+03	9,89	2,40E+04	2,78E+02	9,89	2,75E+03
Use of net fresh water	m ³	1,03E+00	9,89	1,02E+01	6,35E-02	9,89	6,28E-01

LISTELLI IN LEGNO, SUPPORTO TERMORIFLETTENTI - SORLAMINERUNG AS

PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	FASI A1-A3			FASE A4		
		dato per F.U. ⁽¹⁶⁾	(K ¹⁴)	dato totale	dato per F.U. ⁽¹⁶⁾	(K ¹⁴)	dato totale
Global warming potential	kg CO2-eq	-6,30E+02	4,64	-2,92E+03	1,70E+01	4,64	7,90E+01
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	1,59E-05	4,64	7,40E-05	2,63E-06	4,64	1,22E-05
Acidification potential	kg SO2-eq	5,86E-01	4,64	2,72E+00	2,10E-03	4,64	9,75E-03
Eutrophication potential	kg (PO4) ³⁻ -eq	7,03E-01	4,64	3,26E+00	6,89E-02	4,64	3,20E-01
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	2,37E-01	4,64	1,10E+00	1,84E-02	4,64	8,54E-02
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	2,49E-04	4,64	1,16E-03	4,41E-05	4,64	2,05E-04
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	1,93E+03	4,64	8,96E+03	2,47E+02	4,64	1,15E+03
Renewable primary energy	MJ	1,03E+04	4,64	4,79E+04	3,59E+00	4,64	1,67E+01
Non-renewable primary energy	MJ	2,42E+03	4,64	1,13E+04	2,78E+02	4,64	1,29E+03
Use of net fresh water	m ³	1,03E+00	4,64	4,78E+00	6,35E-02	4,64	2,95E-01



LISTELLI IN LEGNO, SUPPORTO VIP - SORLAMINERUNG AS						
FASE A5			FASE B1-B7	FASE C1-C4		
dato per F.U. (¹⁶)	(K ¹⁴)	dato totale		dato per F.U. (¹⁶)	(K ¹⁴)	dato totale
9,33E+00	9,89	9,23E+01	0	7,99E+02	9,89	7,90E+03
1,09E-06	9,89	1,08E-05	0	3,28E-06	9,89	3,24E-05
3,49E-03	9,89	3,45E-02	0	9,02E-03	9,89	8,92E-02
4,75E-02	9,89	4,70E-01	0	1,76E-01	9,89	1,75E+00
1,60E-02	9,89	1,58E-01	0	6,46E-02	9,89	6,39E-01
1,45E-05	9,89	1,44E-04	0	-3,35E-06	9,89	-3,31E-05
1,19E+02	9,89	1,17E+03	0	1,95E+02	9,89	1,93E+03
5,18E+02	9,89	5,12E+03	0	1,09E+01	9,89	1,08E+02
1,59E+02	9,89	1,57E+03	0	4,65E+02	9,89	4,60E+03
1,53E-01	9,89	1,51E+00	0	1,96E+00	9,89	1,94E+01

Tabella 15. LCA screening per i listelli in legno; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano i listelli che compongono una maglia di supporto 1 x 1,5 m.

LISTELLI IN LEGNO, SUPPORTO TERMORIFLETTENTI - SORLAMINERUNG AS						
FASE A5			FASE B1-B7	FASE C1-C4		
dato per F.U. (¹⁶)	(K ¹⁴)	dato totale		dato per F.U. (¹⁶)	(K ¹⁴)	dato totale
9,33E+00	4,64	4,33E+01	0	7,99E+02	4,64	3,71E+03
1,09E-06	4,64	5,08E-06	0	3,28E-06	4,64	1,52E-05
3,49E-03	4,64	1,62E-02	0	9,02E-03	4,64	4,19E-02
4,75E-02	4,64	2,20E-01	0	1,76E-01	4,64	8,19E-01
1,60E-02	4,64	7,43E-02	0	6,46E-02	4,64	3,00E-01
1,45E-05	4,64	6,73E-05	0	-3,35E-06	4,64	-1,55E-05
1,19E+02	4,64	5,51E+02	0	1,95E+02	4,64	9,04E+02
5,18E+02	4,64	2,40E+03	0	1,09E+01	4,64	5,06E+01
1,59E+02	4,64	7,36E+02	0	4,65E+02	4,64	2,16E+03
1,53E-01	4,64	7,10E-01	0	1,96E+00	4,64	9,11E+00

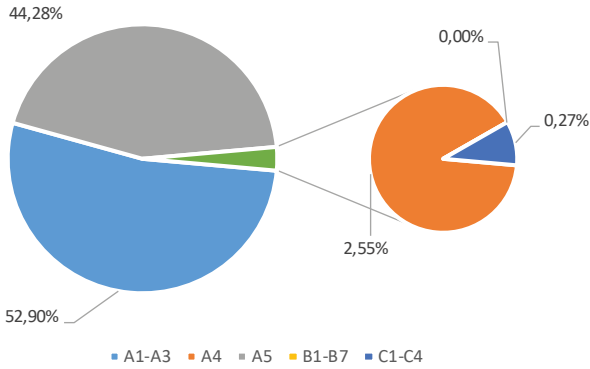
Tabella 16. LCA screening relativo ai listelli in legno; valutazione degli impatti dei dieci indicatori selezionati lungo l'intero ciclo di vita. I dati totali riguardano i listelli verticali di supporto (con un interasse di 1,50 m).



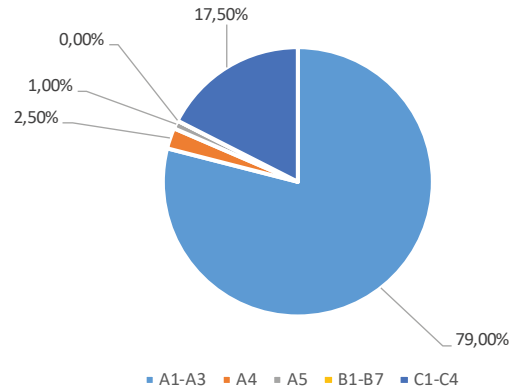
4.2.2 Analisi e confronto dei risultati ottenuti

Dalle tabelle 9-10-11 riguardanti i tre isolanti (cap. 4.2.1, pag. 90-92), si ottengono, per ciascun indicatore scelto, i risultati mostrati nei grafici seguenti e nelle *tabelle riassuntive 17-18-19 (pag. 103)*.

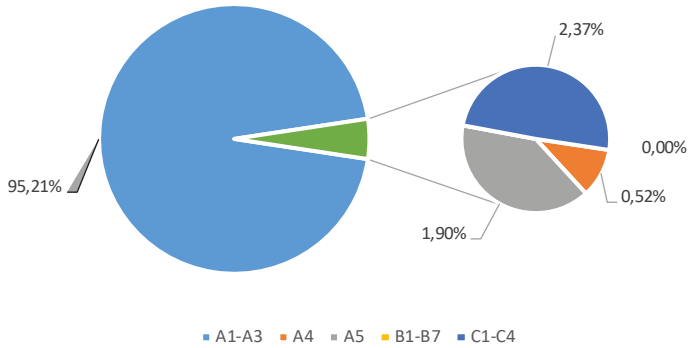
GWP - LANA DI VETRO



GWP - TERMORIFLETTENTI



GWP - VIP

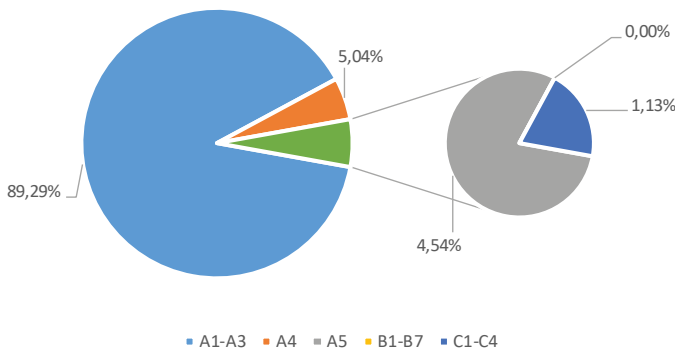


a. Relativamente al potenziale riscaldamento globale (GWP):

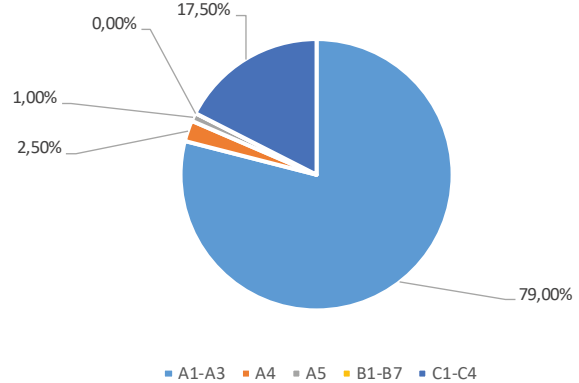
-La fase di produzione A1-A3 è la più significativa sull'impatto totale (52,90% per la lana di vetro, 95,21% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di applicazione (A5) con il 44,28%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

-I kilogrammi totali di CO₂ equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente maggiori per i pannelli VIP (221.154,95 kg) rispetto ai termoriflettenti (12.067,11 kg) e ai pannelli in lana di vetro (39.700,48 kg).

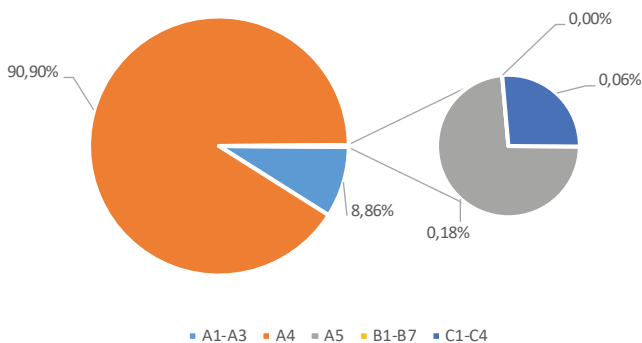
ODP - LANA DI VETRO



ODP - TERMORIFLETTENTI



ODP - VIP



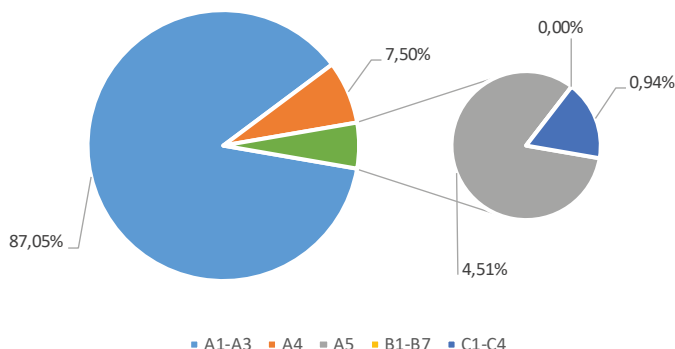
b. Relativamente al potenziale di esaurimento dello strato di ozono (ODP):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (89,29% per la lana di vetro e 79% per i termoriflettenti), la fase A4 è invece la più rilevante per i VIP (90,90%), segue la fase A1-A3 con l'8,86%; per quanto riguarda la lana di vetro tutte le altre fasi sono esigue e, segue, per quanto riguarda i termoriflettenti, le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

-I kilogrammi totali di CFC-11 equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono, per i pannelli VIP, 0,0002 kg, per i termoriflettenti 0,0008 kg e per i pannelli in lana di vetro 0,0025 kg.

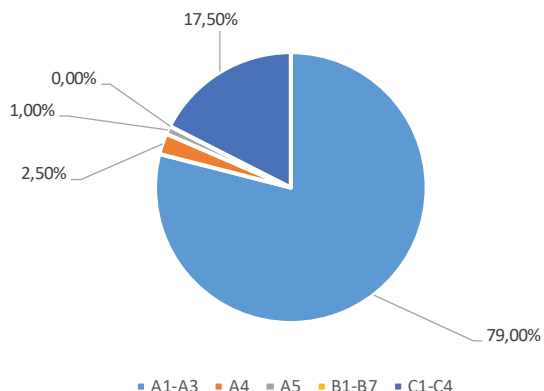


AP - LANA DI VETRO



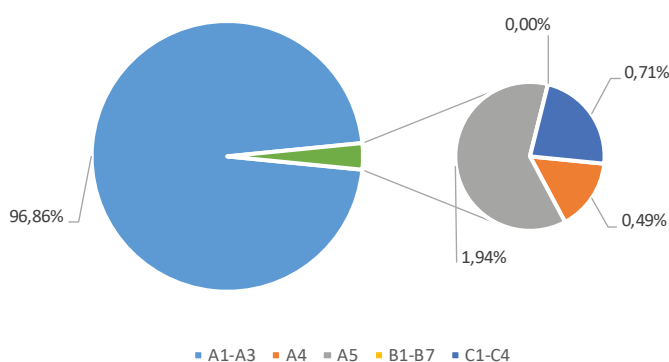
■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

AP - TERMORIFLETTENTI



■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

AP - VIP



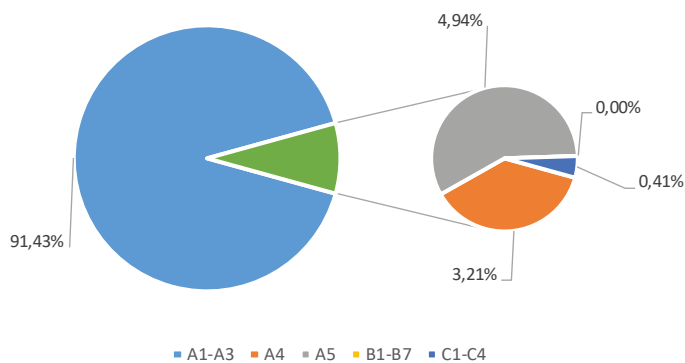
■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

c. Relativamente al potenziale di acidificazione (AP):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (87,05% per la lana di vetro, 96,86% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di trasporto (A4) e di applicazione (A5) rispettivamente con il 7,50% e il 4,51%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

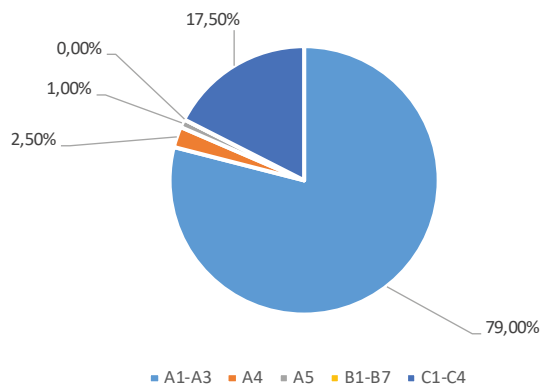
-I kilogrammi totali di SO₂ equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente maggiori per i pannelli VIP (752,10 kg) rispetto ai termoriflettenti (37,72 kg) e ai pannelli in lana di vetro (67,01 kg).

EP - LANA DI VETRO



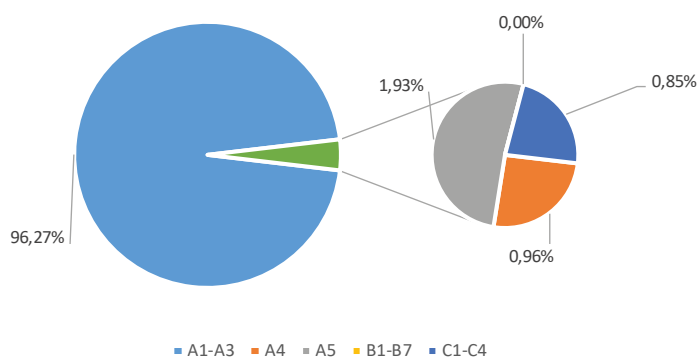
■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

EP - TERMORIFLETTENTI



■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

EP - VIP

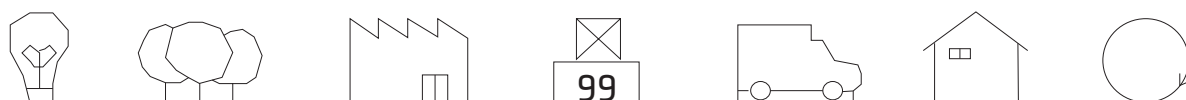


■ A1-A3 ■ A4 ■ A5 ■ B1-B7 ■ C1-C4

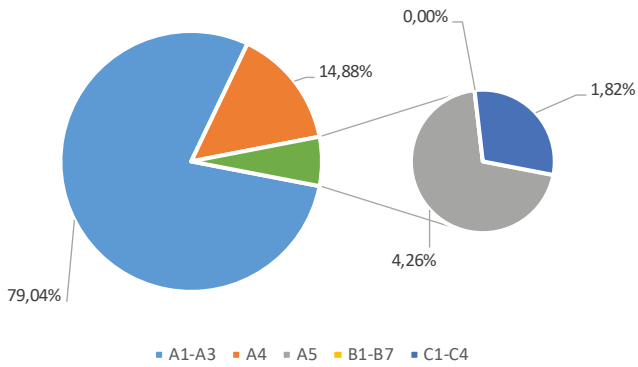
d. Relativamente al potenziale di eutrofizzazione (EP):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (91,43% per la lana di vetro, 96,27% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di trasporto (A4) e di applicazione (A5) rispettivamente con il 3,21% e il 4,94%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

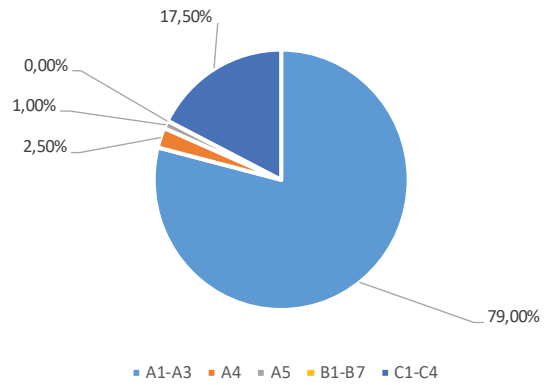
-I kilogrammi totali (PO₄)₃-equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente minori per gli isolanti termoriflettenti (0,42 kg) rispetto ai pannelli VIP (85,00 kg) e ai pannelli in lana di vetro (38,23 kg).



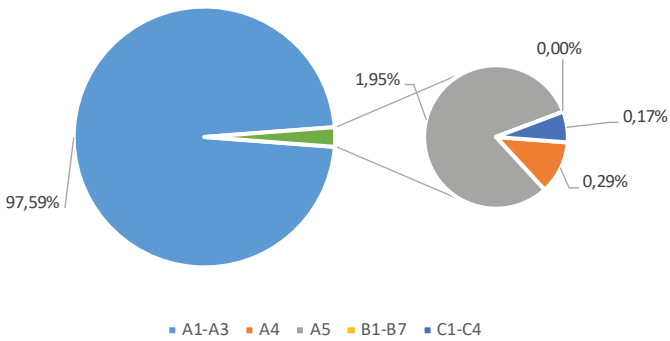
POCP - LANA DI VETRO



POCP - TERMORIFLETTENTI



POCP - VIP

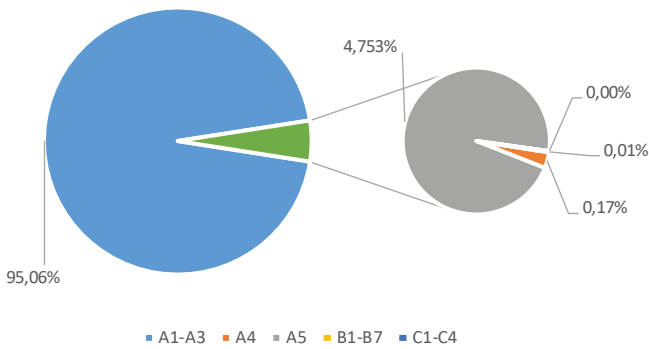


e. Relativamente al potenziale di creazione di ozono fotochimico (POCP):

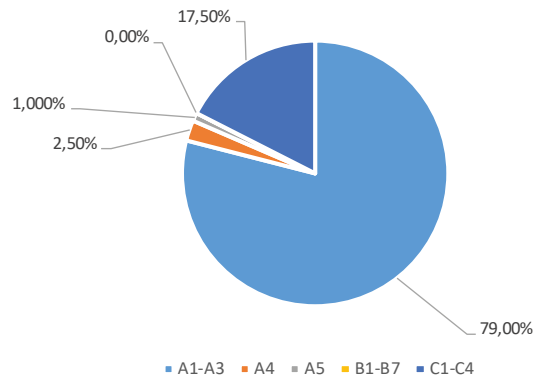
-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (79,04% per la lana di vetro, 96,27% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di trasporto (A4) e di applicazione (A5) rispettivamente con il 14,88% e il 4,26%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

-I kilogrammi totali di Etilene equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente minori per gli isolanti termoriflettenti (2,10 kg) rispetto ai pannelli VIP (64,7 kg) e ai pannelli in lana di vetro (63,80 kg).

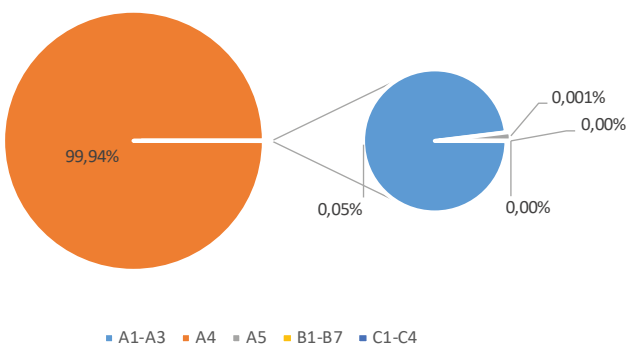
ADP - LANA DI VETRO



ADP- TERMORIFLETTENTI



ADP - VIP



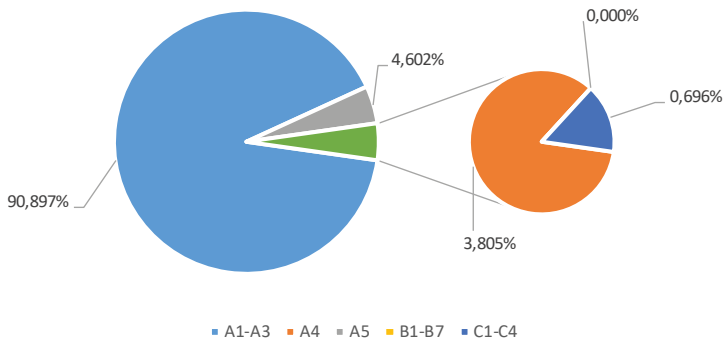
f. Relativamente al potenziale di esaurimento abiotico (ADPE):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale: 95,06% per la lana di vetro e 79% per i termoriflettenti; per i pannelli VIP la fase A4 è invece la più evidente (99,94% di impatto); segue, per quanto riguarda i termoriflettenti, le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

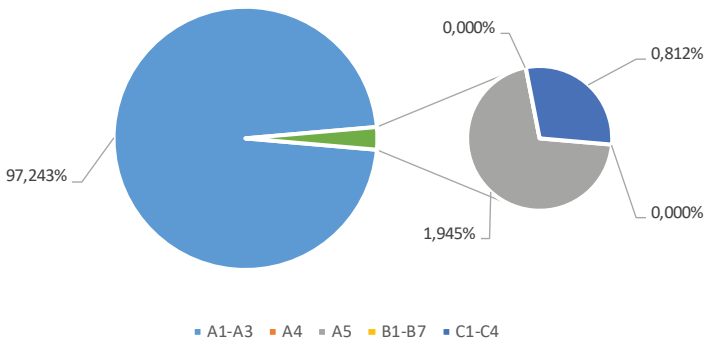
-I kilogrammi totali di Sb (antimonio) equivalente prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente minori per i pannelli in lana di vetro (2,40 kg) rispetto agli isolanti termoriflettenti (95,01 kg) e soprattutto ai pannelli VIP (18.320 kg).



ADPF - LANA DI VETRO



ADPF - VIP

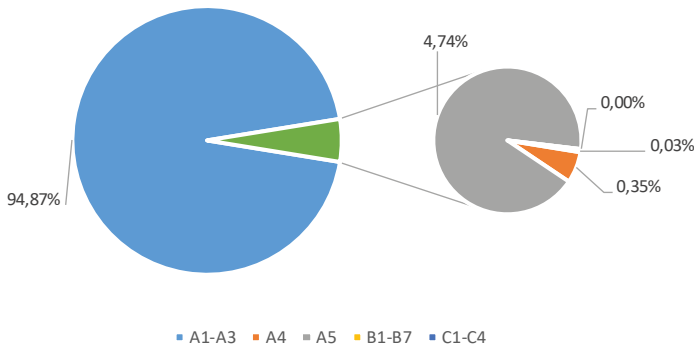


g. Relativamente al potenziale di esaurimento abiotico per risorse fossili (ADPF):

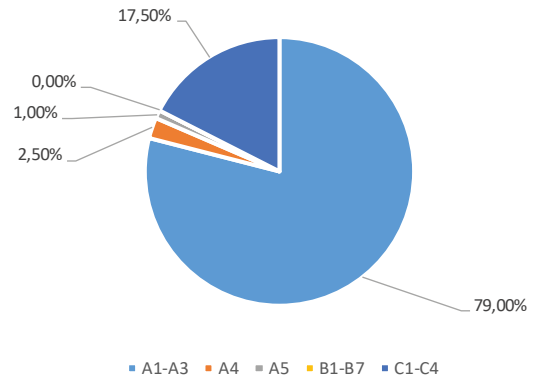
-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (90,90% per la lana di vetro, 97,24% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); per quanto riguarda la lana di vetro e i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto concerne i termoriflettenti, non sono stati reperiti dati riguardo questo indicatore.

-I MJ prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente minori per i pannelli in lana di vetro (346.207,17 MJ) rispetto ai pannelli VIP (3.318.153 MJ).

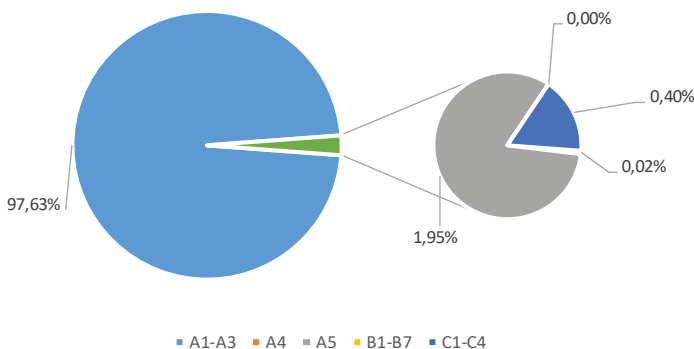
PERT - LANA DI VETRO



PERT - TERMORIFLETTENTI



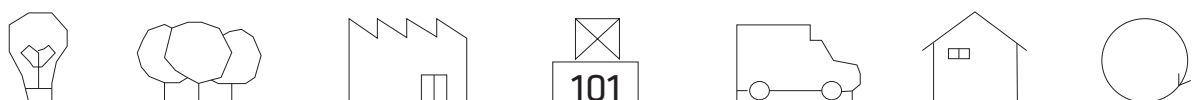
PERT - VIP



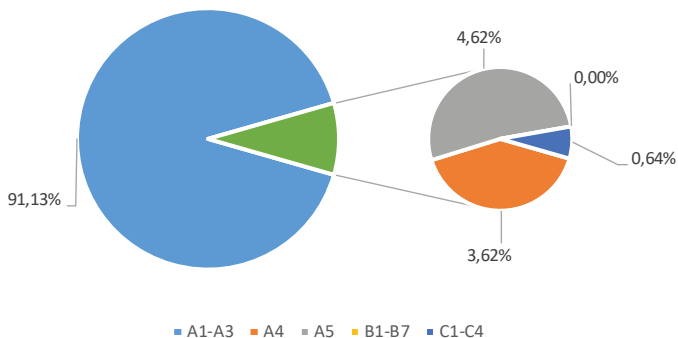
h. Relativamente all'energia primaria rinnovabile (PERT):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (94,87% per la lana di vetro, 97,63% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di applicazione (A5) con il 4,74%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

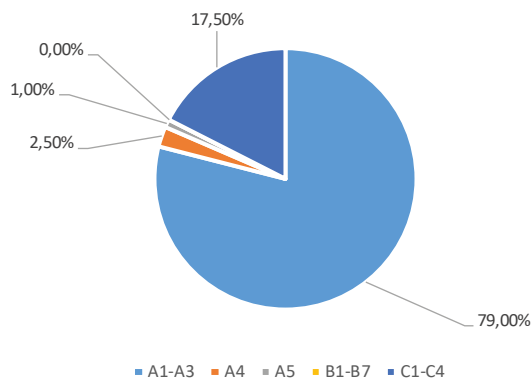
-I MJ prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente maggiori per i pannelli VIP (1.469.948,70 MJ) rispetto ai pannelli in lana di vetro (63.981,75 MJ) e ai termoriflettenti (13.186,80 MJ).



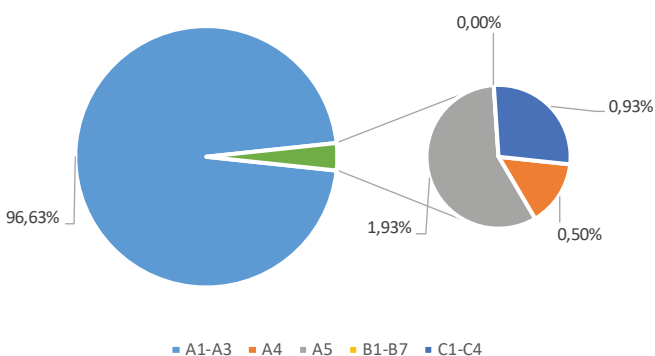
PENRT - LANA DI VETRO



PENRT - TERMORIFLETTENTI



PENRT - VIP

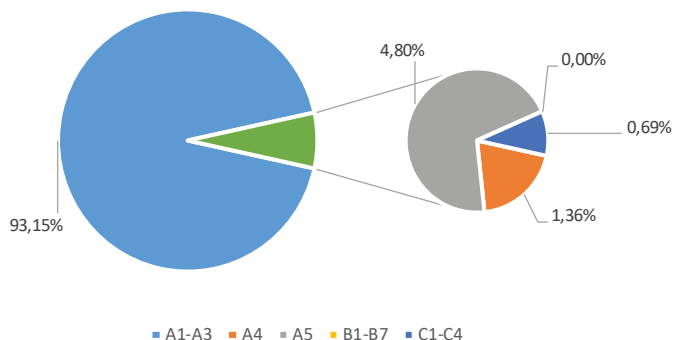


i. Relativamente all'energia primaria non rinnovabile (PENRT):

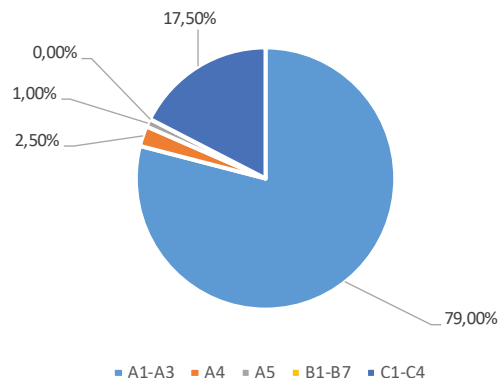
-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (91,13% per la lana di vetro, 96,63% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di trasporto (A4) e di applicazione (A5) rispettivamente con il 3,62% e il 4,62%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

-I MJ prodotti lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente maggiori per i pannelli VIP (3.762.720,96 MJ) rispetto ai pannelli in lana di vetro (392.292,33 MJ) e ai termoriflettenti (233.026,20 MJ).

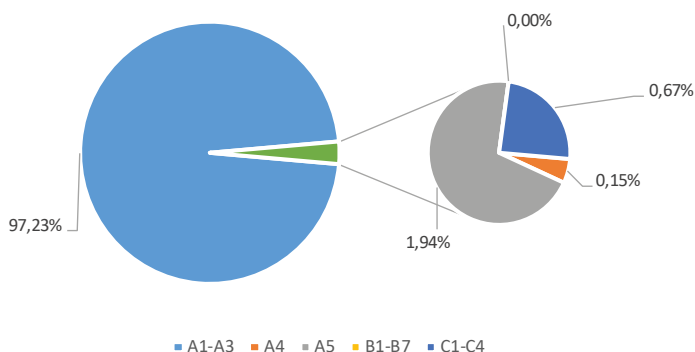
FW - LANA DI VETRO



FW - TERMORIFLETTENTI



FW - VIP



i. Relativamente all'uso di acqua fresca (FW):

-Le fasi A1-A3 relative alla produzione sono quelle più significative sull'impatto totale (91,13% per la lana di vetro, 97,23% per i pannelli VIP e 79% per i termoriflettenti); segue, per quanto riguarda la lana di vetro, la fase di applicazione (A5) con il 4,80%, per quanto riguarda i VIP tutte le altre fasi sono esigue e, per quanto riguarda i termoriflettenti le fasi di smaltimento (C2-C4) con il 17,50%.

-I metri cubi d'acqua consumati lungo l'intero ciclo di vita sono notevolmente maggiori per i termoriflettenti (19.305,00 mc), seguono i pannelli VIP (2.210,00 mc) e i pannelli in lana di vetro (32,40 mc).



LANA DI VETRO						
INDICATORI	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	TOTALE
Global warming potential	2,10E+04	1,01E+03	1,76E+04	0,00	1,09E+02	3,97E+04
Ozone layer depletion potential	2,23E-03	1,26E-04	1,13E-04	0,00	2,82E-05	2,49E-03
Acidification potential	5,83E+01	5,02E+00	3,02E+00	0,00	6,31E-01	6,70E+01
Eutrophication potential	3,50E+01	1,23E+00	1,89E+00	0,00	1,57E-01	3,82E+01
Photochemical ozone creation potential	5,04E+01	9,49E+00	2,72E+00	0,00	1,16E+00	6,38E+01
Abiotic Depletion Potential	2,28E+00	4,15E-03	1,14E-01	0,00	3,02E-04	2,40E+00
Abiotic depletion potential for fossil resources	3,15E+05	1,32E+04	1,59E+04	0,00	2,41E+03	3,46E+05
Renewable primary energy	6,07E+04	2,25E+02	3,03E+03	0,00	2,21E+01	6,40E+04
Non-renewable primary energy	3,57E+05	1,42E+04	1,81E+04	0,00	2,51E+03	3,92E+05
Use of net fresh water	3,02E+01	4,41E-01	1,55E+00	0,00	2,23E-01	3,24E+01

Tabella riassuntiva 17, isolante in lana di vetro. I dati riportati sono le somme degli impatti delle varie fasi dell'analisi LCA screening. Vedi Tabella 9.

PANNELLI VIP						
INDICATORI	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	TOTALE
Global warming potential	2,11E+05	1,14E+03	4,21E+03	0,00	5,24E+03	2,21E+05
Ozone layer depletion potential	2,11E-05	2,16E-04	4,21E-07	0,00	1,52E-07	2,38E-04
Acidification potential	7,28E+02	3,69E+00	1,46E+01	0,00	5,35E+00	7,52E+02
Eutrophication potential	8,18E+01	8,14E-01	1,64E+00	0,00	7,22E-01	8,50E+01
Photochemical ozone creation potential	6,34E+01	1,87E-01	1,27E+00	0,00	-1,09E-01	6,47E+01
Abiotic Depletion Potential	9,98E+00	1,83E+04	2,00E-01	0,00	7,83E-04	1,83E+04
Abiotic depletion potential for fossil resources	3,23E+06	3,14E-03	6,45E+04	0,00	2,69E+04	3,32E+06
Renewable primary energy	1,44E+06	2,49E+02	2,87E+04	0,00	5,84E+03	1,47E+06
Non-renewable primary energy	3,64E+06	1,88E+04	7,27E+04	0,00	3,51E+04	3,76E+06
Use of net fresh water	2,15E+03	3,33E+00	4,30E+01	0,00	1,48E+01	2,21E+03

Tabella riassuntiva 18, pannelli VIP. I dati riportati sono le somme degli impatti delle varie fasi dell'analisi LCA screening. Vedi Tabella 10.

ISOLANTI TERMORIFLETTENTI						
INDICATORI	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	TOTALE
Global warming potential	9,53E+03	3,02E+02	1,21E+02	0,00	2,11E+03	1,21E+04
Ozone layer depletion potential	6,22E-04	1,97E-05	7,87E-06	0,00	1,38E-04	7,87E-04
Acidification potential	2,98E+01	9,43E-01	3,77E-01	0,00	6,60E+00	3,77E+01
Eutrophication potential	3,28E-01	1,04E-02	4,16E-03	0,00	7,28E-02	4,16E-01
Photochemical ozone creation potential	1,66E+00	5,25E-02	2,10E-02	0,00	3,67E-01	2,10E+00
Abiotic Depletion Potential	7,51E+01	2,38E+00	9,50E-01	0,00	1,66E+01	9,50E+01
Abiotic depletion potential for fossil resources	/	/	/	/	/	/
Renewable primary energy	1,04E+04	3,30E+02	1,32E+02	0,00	2,31E+03	1,32E+04
Non-renewable primary energy	1,84E+05	5,83E+03	2,33E+03	0,00	4,08E+04	2,33E+05
Use of net fresh water	1,53E+04	4,83E+02	1,93E+02	0,00	3,38E+03	1,93E+04

Tabella riassuntiva 19, materiali termoriflettenti. I dati riportati sono le somme degli impatti delle varie fasi dell'analisi LCA screening. Vedi Tabella 11.

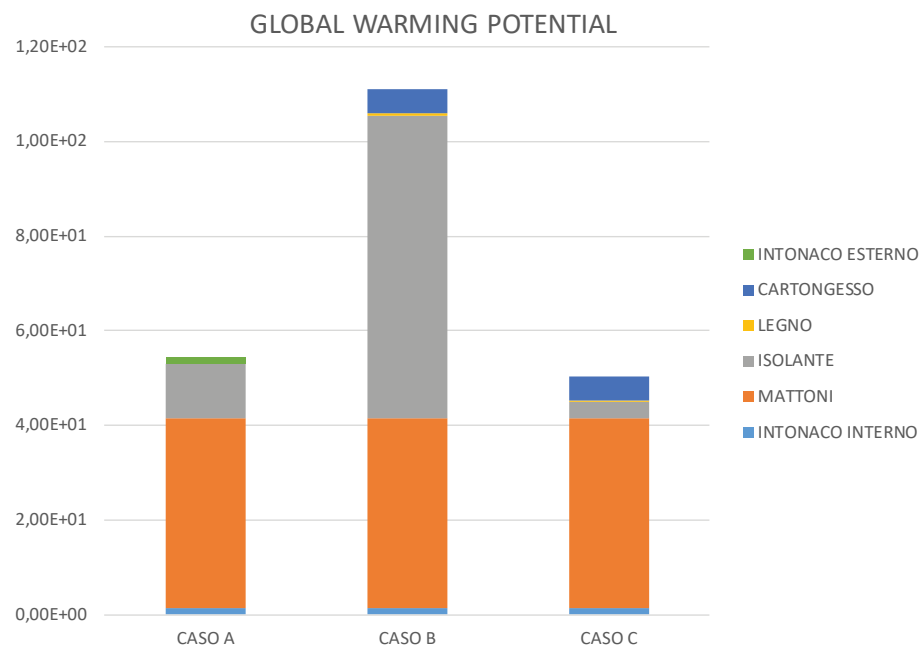


Dopo aver analizzato i risultati ottenuti dai tre isolanti, vengono ora considerati tutti i materiali del sistema facciata.

Gli impatti dell'intonaco interno e dei mattoni forati rimangono costanti per ogni indicatore, variano invece gli impatti degli isolanti e dei materiali di rivestimento (intonaco esterno o cartongesso con listelli di supporto in legno):

- CASO A. Intonaco interno, mattoni forati 30x25x29 cm, cappotto in lana di vetro e rivestimento esterno con intonaco di calce e gesso;
- CASO B. Intonaco interno, mattoni forati 30x25x29 cm, cappotto con pannelli VIP Porextherm e rivestimento in cartongesso;
- CASO C. Intonaco interno, mattoni forati 30x25x29 cm, cappotto con isolante termoriflettente Actis Triso Super 10 e rivestimento in cartongesso.

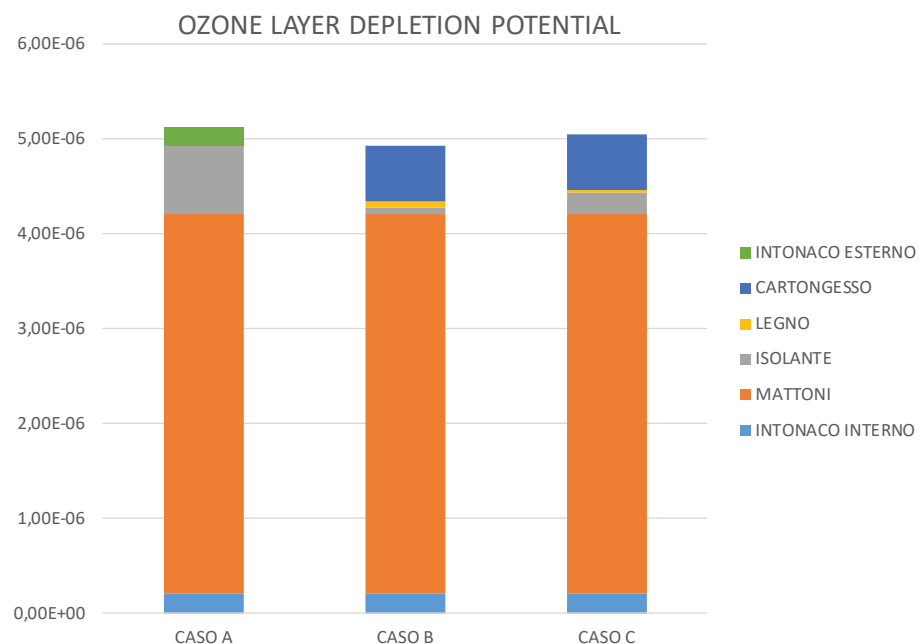
Considerando 1 mq di parete, per ciascun impatto si ottengono i risultati riportati nei grafici e nelle *tabelle riassuntive 20-21-22, pag. 108*. I dettagli costruttivi in scala 1.10 della parete esterna nei casi A, B, C sono riportati alle pagine 86-87.



a. Potenziale di riscaldamento globale

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 54,3 kg di CO₂ equivalente, di cui il 23,21% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 111,1 kg di CO₂ equivalente, di cui il 62,65% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 50,4 kg di CO₂ equivalente, di cui il 17,55% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.



b. Relativamente al potenziale di esaurimento dello strato di ozono

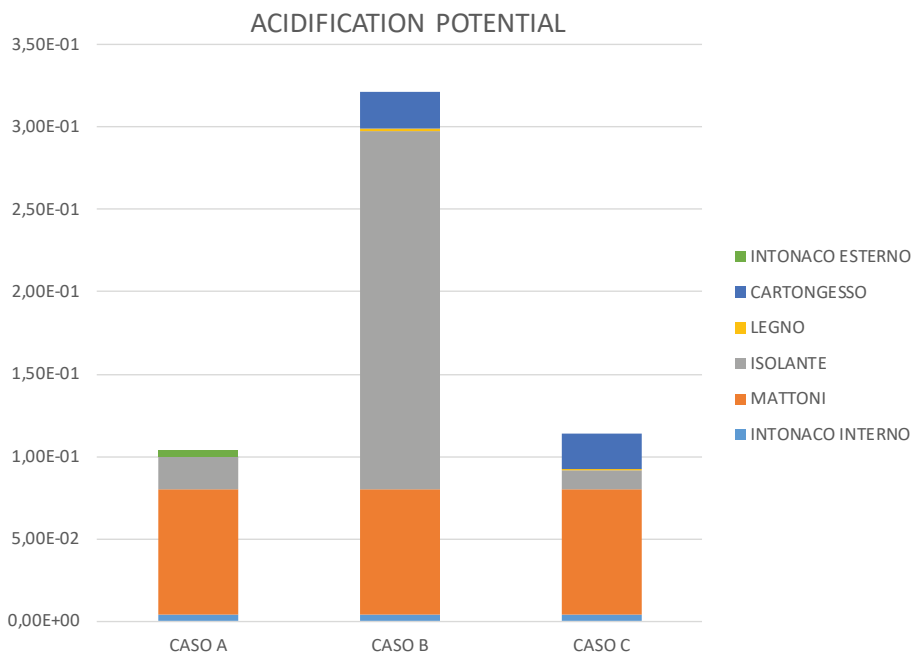
Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 5,13 E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 18,01% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 4,92E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 14,56% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 5,05E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 16,65% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.

c. Relativamente al potenziale di acidificazione

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

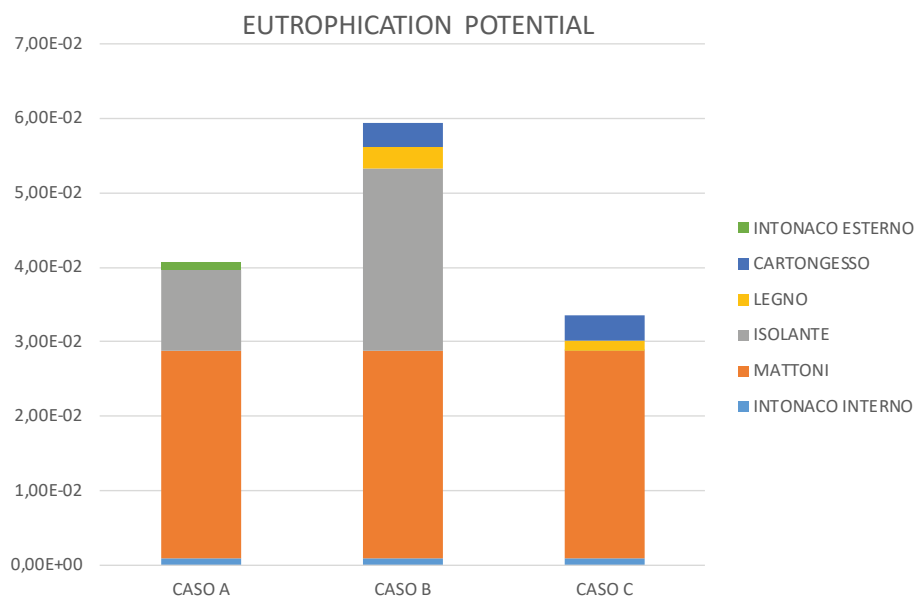
- CASO A: 0,104 kg di SO₂ equivalente, di cui il 22,39% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 0,321 kg di SO₂ equivalente, di cui il 74,97% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 0,114 kg di SO₂ equivalente, di cui il 29,58% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.



d. Relativamente al potenziale di eutrofizzazione

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

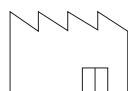
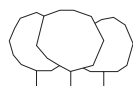
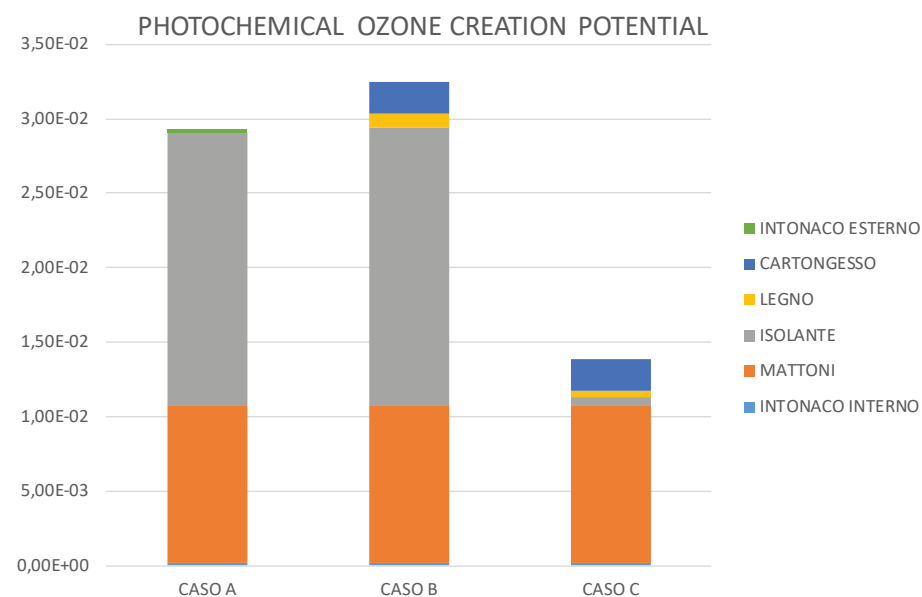
- CASO A: 0,0407 kg di (PO₄)₃-equivalente, di cui il 29,37% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 0,0594 kg di (PO₄)₃-equivalente, di cui il 51,66% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 0,0335 kg di (PO₄)₃-equivalente, di cui il 14,25% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.



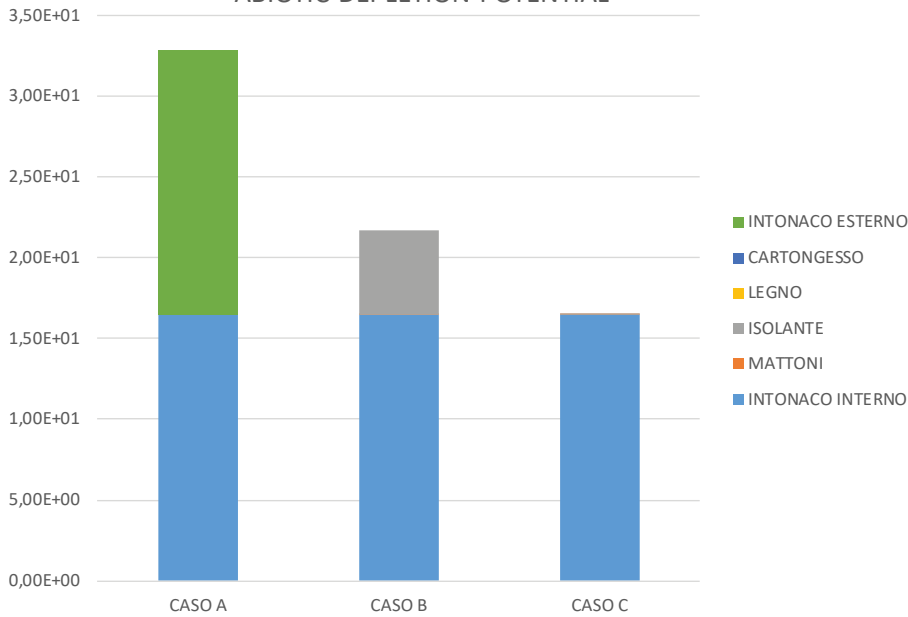
e. Relativamente al potenziale di creazione di ozono fotochimico

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 0,0293 kg di etilene equivalente, di cui il 63,52% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 0,0325 kg di etilene equivalente, di cui il 67,08% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 0,0139 kg di etilene equivalente, di cui il 23,07% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.



ABIOTIC DEPLETION POTENTIAL



f. Relativamente al potenziale di esaurimento abiotico

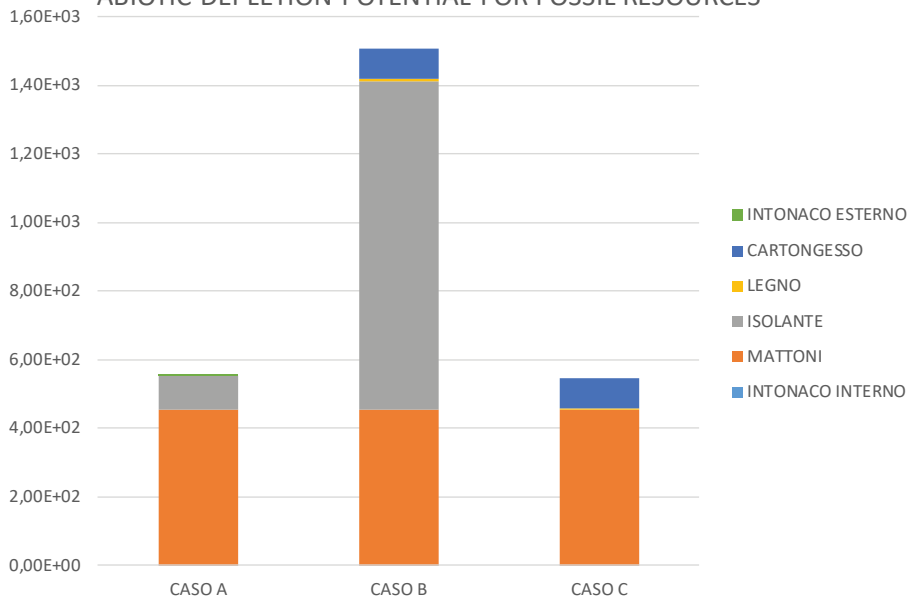
Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 32,9 kg di Sb equivalente, di cui il 50,00% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO B: 21,7 kg di Sb equivalente, di cui il 24,33% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO C: 16,5 kg di Sb equivalente, di cui il 0,17% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.

ABIOTIC DEPLETION POTENTIAL FOR FOSSIL RESOURCES



g. Relativamente al potenziale di esaurimento abiotico per risorse fossili

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

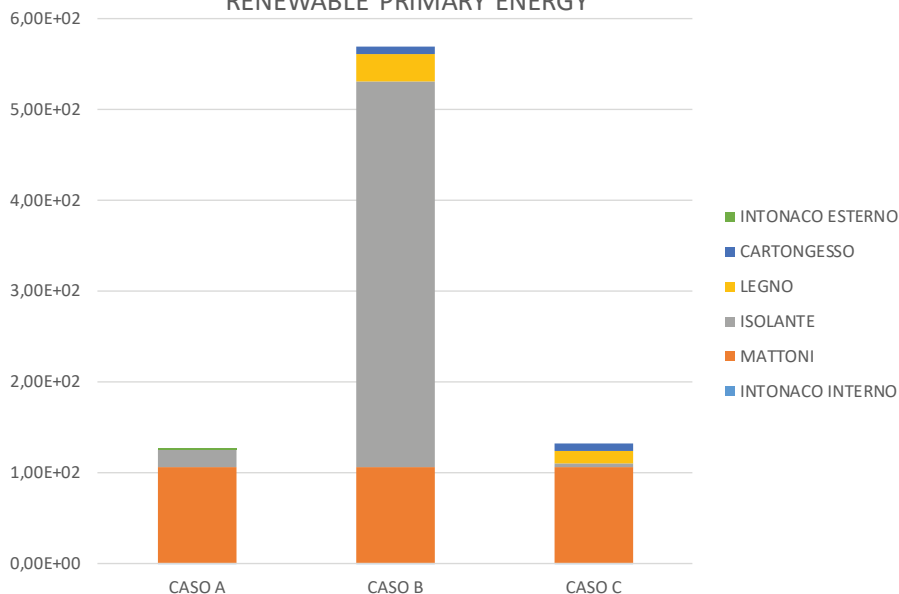
- CASO A: 554 MJ, di cui il 18,22% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO B: 1.510 MJ, di cui il 69,91% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO C: 545 MJ, di cui il 16,84% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento

Nel CASO C, non è stato considerato l'impatto dell'isolante termoriflettente per mancanza di dati.

RENEWABLE PRIMARY ENERGY



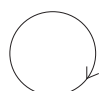
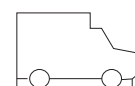
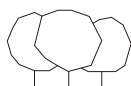
h. Relativamente all'energia primaria rinnovabile

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 126 MJ, di cui il 15,09% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO B: 570 MJ, di cui il 81,27% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;

- CASO C: 133 MJ, di cui il 19,63% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.

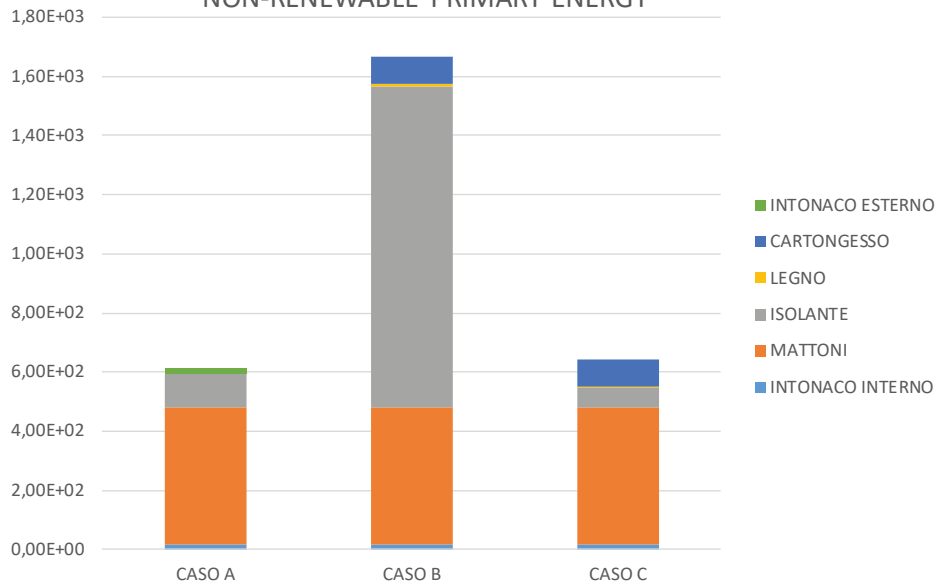


i. Relativamente all'energia primaria non rinnovabile

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 612 MJ, di cui il 21,53% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 1.670 MJ, di cui il 71,19% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 642 MJ, di cui il 25,29% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.

NON-RENEWABLE PRIMARY ENERGY

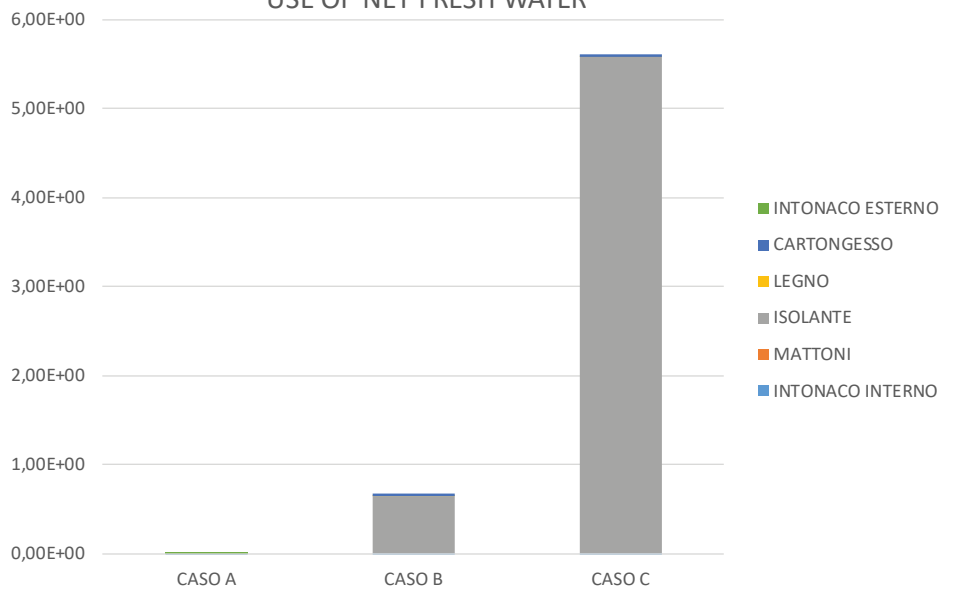


i. Relativamente all'uso di acqua fresca

Impatto totale per 1 mq del sistema facciata:

- CASO A: 0,0192 mc di acqua fresca, di cui il 74,30% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO B: 0,679 mc di acqua fresca, di cui il 99,27% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento;
- CASO C: 5,61 mc di acqua fresca, di cui il 99,91% relativo all'isolante e ai materiali di rivestimento.

USE OF NET FRESH WATER



I tutti e tre i casi, non è stato considerato l'impatto dei mattoni forati per mancanza di dati.



CASO A - IMPATTO DI 1 MQ DI FACCIATA, APPLICAZIONE LANA DI VETRO							
PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	INTONACO	MATTONI FORATI	LANA DI VETRO	INTONACO	TOTALE	% IMPATTO (Isolante + Rivestimento)
Global warming potential	kg CO2-eq	1,25E+00	4,03E+01	1,15E+01	1,25E+00	5,43E+01	23,41%
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	2,05E-07	4,00E-06	7,19E-07	2,05E-07	5,13E-06	18,01%
Acidification potential	kg SO2-eq	3,86E-03	7,65E-02	1,93E-02	3,86E-03	1,04E-01	22,39%
Eutrophication potential	kg (PO4) ³ -eq	9,08E-04	2,78E-02	1,10E-02	9,08E-04	4,07E-02	29,37%
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	2,02E-04	1,05E-02	1,84E-02	2,02E-04	2,93E-02	63,52%
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	1,64E+01	1,25E-05	6,92E-04	1,64E+01	3,29E+01	50,00%
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	1,06E+00	4,52E+02	9,99E+01	1,06E+00	5,54E+02	18,22%
Renewable primary energy	MJ	5,02E-01	1,06E+02	1,85E+01	5,02E-01	1,26E+02	15,09%
Non-renewable primary energy	MJ	1,84E+01	4,62E+02	1,13E+02	1,84E+01	6,12E+02	21,53%
Use of net fresh water	m ³	4,94E-03	0,00E+00	9,34E-03	4,94E-03	1,92E-02	74,30%

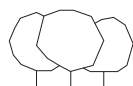
Tabella riassuntiva 20, CASO A. I dati riportati sono le somme degli impatti totali di ciascun materiale del sistema facciata. Vedi Tabella 9, 12, 14.

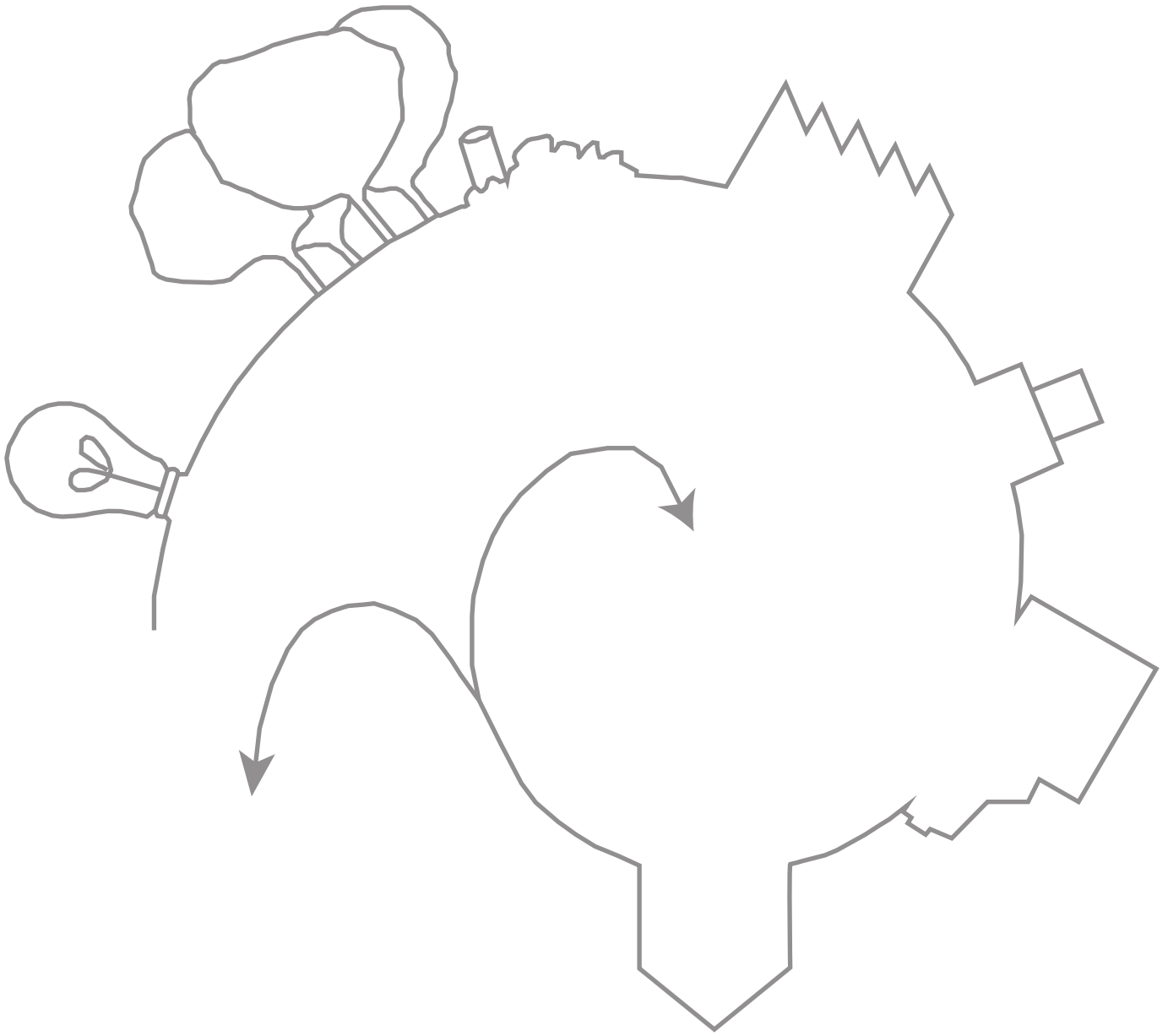
CASO B - IMPATTO DI 1 MQ DI FACCIATA, APPLICAZIONE PANNELLI VIP								
PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	INTONACO	MATTONI FORATI	PANNELLI VIP	LISTELLI IN LEGNO	CARTONGESSO	TOTALE	% IMPATTO (Isolante + Rivestimento)
Global warming potential	kg CO2-eq	1,25E+00	4,03E+01	6,38E+01	5,59E-01	5,10E+00	1,11E+02	62,56%
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	2,05E-07	4,00E-06	6,86E-08	6,55E-08	5,82E-07	4,92E-06	14,56%
Acidification potential	kg SO2-eq	3,86E-03	7,65E-02	2,17E-01	1,71E-03	2,21E-02	3,21E-01	74,97%
Eutrophication potential	kg (PO4) ³ -eq	9,08E-04	2,78E-02	2,45E-02	2,84E-03	3,32E-03	5,94E-02	51,66%
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	2,02E-04	1,05E-02	1,87E-02	9,59E-04	2,15E-03	3,25E-02	67,08%
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	1,64E+01	1,25E-05	5,29E+00	8,69E-07	9,24E-07	2,17E+01	24,33%
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	1,06E+00	4,52E+02	9,58E+02	7,11E+00	8,85E+01	1,51E+03	69,91%
Renewable primary energy	MJ	5,02E-01	1,06E+02	4,24E+02	3,10E+01	7,72E+00	5,70E+02	81,27%
Non-renewable primary energy	MJ	1,84E+01	4,62E+02	1,09E+03	9,49E+00	9,08E+01	1,67E+03	71,19%
Use of net fresh water	m ³	4,94E-03	0,00E+00	6,38E-01	9,16E-03	2,68E-02	6,79E-01	99,27%

Tabella riassuntiva 21, CASO A. I dati riportati sono le somme degli impatti totali di ciascun materiale del sistema facciata. Vedi Tabella 10, 12, 13, 14, 15.

CASO C - IMPATTO DI 1 MQ DI FACCIATA, APPLICAZIONE TERMORIFLETTENTI								
PARAMETRI LCA SCREENING	UNITA' DI MISURA	INTONACO	MATTONI FORATI	TERMORIFLETTENTI	LISTELLI IN LEGNO	CARTONGESSO	TOTALE	% IMPATTO (Isolante + Rivestimento)
Global warming potential	kg CO2-eq	1,25E+00	4,03E+01	3,48E+00	2,62E-01	5,10E+00	5,04E+01	17,55%
Ozone layer depletion potential	kg CFC11-eq	2,05E-07	4,00E-06	2,27E-07	3,07E-08	5,82E-07	5,05E-06	16,65%
Acidification potential	kg SO2-eq	3,86E-03	7,65E-02	1,09E-02	8,05E-04	2,21E-02	1,14E-01	29,58%
Eutrophication potential	kg (PO4) ³ -eq	9,08E-04	2,78E-02	1,20E-04	1,33E-03	3,32E-03	3,35E-02	14,25%
Photochemical ozone creation potential	kg Ethen-eq	2,02E-04	1,05E-02	6,06E-04	4,50E-04	2,15E-03	1,39E-02	23,07%
Abiotic Depletion Potential	kg Sb-eq	1,64E+01	1,25E-05	2,74E-02	4,08E-07	9,24E-07	1,65E+01	0,17%
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ	1,06E+00	4,52E+02	0,00E+00	3,34E+00	8,85E+01	5,45E+02	16,84%
Renewable primary energy	MJ	5,02E-01	1,06E+02	3,81E+00	1,45E+01	7,72E+00	1,33E+02	19,63%
Non-renewable primary energy	MJ	1,84E+01	4,62E+02	6,73E+01	4,46E+00	9,08E+01	6,42E+02	25,29%
Use of net fresh water	m ³	4,94E-03	0,00E+00	5,57E+00	4,30E-03	2,68E-02	5,61E+00	99,91%

Tabella riassuntiva 22, CASO C. I dati riportati sono le somme degli impatti totali di ciascun materiale del sistema facciata. Vedi Tabella 11, 12, 13, 14, 16.





5. CONCLUSIONI

Le esigenze e gli obiettivi della progettazione contemporanea sono cambiati e si sono rinnovati, soprattutto nell'ultimo ventennio, per far fronte ai vari problemi ambientali attuali. Queste problematiche hanno portato ad una progettazione maggiormente efficiente dal punto di vista delle prestazioni ambientali, soprattutto nel settore delle costruzioni. In questo ambito, infatti, la scelta dell'isolamento termico rappresenta un fattore determinante ed è il primo passo per contenere i consumi e, quindi, per costruire in modo energeticamente efficiente. Negli ultimi quindici anni, il mercato degli isolanti termici ha avuto una crescita significativa (Fonte: *Rapporto Anit 2013 - Associazione Nazionale per l'Isolamento termico e acustico*) soprattutto per tre fattori: una richiesta di comfort sempre più elevato, l'urgenza dei problemi legati al consumo energetico e all'inquinamento e la presenza di livelli tecnologici sufficientemente alti da poter parlare di innovazione anche nel settore delle costruzioni.

Quest'analisi ha cercato di mostrare le potenzialità dei sistemi di isolamento di ultima generazione, in particolare dei Vacuum insulated panels, dei Phase change materials e degli isolanti termoriflettenti (considerando lo spessore ridotto, la leggerezza, la messa in opera, la praticità, i costi, la capacità prestazionale, i consumi energetici dell'edificio e, infine, gli impatti sull'ambiente), consapevoli del fatto che la scelta di un materiale isolante è solo uno dei molteplici fattori che influenzano un progetto.

Lo studio svolto riguarda prevalentemente un confronto tra singoli prodotti (*cap. 3.3, 3.4*) o, nel caso dell'LCA screening (*cap. 4.2*), un paragone tra tre differenti soluzioni del sistema costruttivo facciata; per questo motivo l'analisi non può essere considerata completamente esaustiva. Sarebbe dunque necessario, per uno studio più accurato e preciso, analizzare ciascuna delle variabili da cui dipende un progetto (sono moltissime) e, parallelamente, ciascuno dei materiali e dei sistemi costruttivi utilizzati.

Oggi infatti, considerando l'esigenza di una progettazione rinnovata, la scelta dei singoli componenti di progetto rappresenta un fatto di importanza rilevante: non deve avvenire solo dopo la stesura di un qualsiasi intervento (di nuova realizzazione o di riqualifica), ma è una scelta che deve essere integrata completamente in esso. Optare per un materiale piuttosto che un altro, dunque, influenza notevolmente il progetto, sin dalle sue prime fasi: ciò che porta alla scelta è l'idea di base, quindi la volontà di dar vita ad un progetto ecofriendly, oppure ad uno che non si preoccupa delle conseguenze sull'ambiente e dell'attenzione alla sostenibilità. Scegliere determinati materiali al posto di altri significa anche che si avranno: diversi tempi di produzione, trasporto, applicazione e manodopera, determinati scarti di produzione, costi, differenti impatti ambientali, e, non per ultimo, un determinato livello di efficienza e di sostenibilità.

Tutto ciò vale anche per gli isolanti, ricordando che la scelta di un sistema di isolamento piuttosto che di un altro si traduce in termini progettuali in vari modi, non solo in termini di prestazione termica.

Nello specifico la tesi analizza tre dei sistemi di isolamento termico ultraperformanti: i VIP, i PCM e i materiali Termoriflettenti stratificati. La scelta è ricaduta su questi tre poiché presentano uno spessore ridotto rispetto a quello degli isolanti tradizionali e poiché si tratta di materiali in grado di raggiungere prestazioni elevate, controllando i consumi energetici dell'edificio.

A partire da queste considerazioni, la nostra analisi vuole dimostrare le potenzialità di questi tre sistemi di isolamento termico attraverso un confronto che si articola soprattutto in tre ambiti: il campo progettuale (considerando la composizione, l'applicazione e l'installazione/praticità), l'ambito economico e quello ambientale (valutando i vari impatti di ciascuno di questi materiali lungo l'intero ciclo di vita).

Composizione

Vacuum insulated panels, materiali termoriflettenti e Phase Change Materials si presentano sotto forme differenti tra loro, mantenendo spessori ridotti: i VIP sono pannelli rigidi sottovuoto (con nucleo a base di acido silicico microporoso e involucro di alluminio) con dimensioni standard definite, i termoriflettenti sono pellicole di alluminio (con ovatta interposta) prodotte in rotoli di diversa lunghezza e larghezza, i PCM invece, non hanno uno spessore predefinito in quanto sono microcapsule (di paraffine o di sali idrati) integrate in materiali differenti (intonaco, vetro, cartongesso, legno) e, soprattutto, non sono isolanti di per sé, ma sistemi di accumulo di calore.

Per la loro natura compositiva, l'analisi svolta ha riscontrato dei limiti: è risultato difficile poter paragonare i tre materiali in termini di prestazione energetica (*cap. 2, tab. 5 e tab. 6 cap. 3.4*).

Applicazione

Sulla base dei casi studi analizzati (*cap. 3.2*), i tre materiali hanno mostrato una buona sperimentazione ed utilizzo negli ultimi 15 anni sia negli interventi di nuova costruzione che nelle riqualificazioni. In Europa, sono stati applicati soprattutto in edifici residenziali, commerciali e in quelli adibiti al terziario, tranne nel caso dei PCM, utilizzati prevalentemente in padiglioni temporanei, serre bioclimatiche e nei sistemi di oscuramento (tutti progetti nei quali l'obiettivo è accumulare calore). Sarebbe interessante estendere l'analisi anche a un panorama extraeuropeo, poiché non è detto che emergano le stesse considerazioni, sia per quanto riguarda la tipologia di intervento che il campo di applicazione del prodotto.

Installazione

Dal censimento delle maggiori ditte produttrici di materiali isolanti ultraperformanti (*cap. 3.3*), è emersa la presenza di molti produttori e rifornitori. E' stata registrata anche un'ampia gamma di prodotti e di differenti campi nei quali essi vengono applicati (*tab. 2,3,4 cap. 3.3*), come le partizioni orizzontali e verticali, le coperture, i balconi e i sistemi oscuranti. Nonostante questa varietà di applicazioni, i Phase change materials dipendono spesso da isolanti tradizionali, non potendo svolgere autonomamente la funzione di isolamento termico (*cap. 2*). I pannelli VIP e i materiali termoriflettenti, invece, non presentano questo limite e compiono la loro funzione di isolante senza materiali ausiliari.

Inoltre, l'installazione dei Vacuum insulated panels e dei materiali termoriflettenti ha mostrato velocità e una buona praticità, anche nei progetti che hanno il limite di avere spazi ridotti: i primi vengono inchiodati a un supporto in legno (1,0 x 1,5 m) o incollati direttamente alla superficie da maestranze qualificate, i secondi vengono facilmente stesi e successivamente graffettati a listelli in legno verticali (interasse 1,50 m) e non necessitano di manodopera specifica. Entrambi, dunque, non hanno bisogno di tempi eccessivi per la posa né di strumenti particolari. Anche per quanto riguarda l'installazione, i PCM, però, hanno mostrato soluzioni completamente differenti tra loro (dipendentemente dal materiale nel quale vengono integrati), motivo per il quale non è stato possibile confrontarli con gli altri due isolanti. Un'analisi più approfondita a riguardo avrebbe fornito, al lavoro svolto, un panorama più ampio.

Costi

Dall'analisi dei maggiori produttori europei e dai loro listini (*tab. 2,3,4 cap. 3.3*), sono stati reperiti i costi dei prodotti specifici di ciascuno dei tre materiali isolanti in analisi. Da ciò è risultato che, a parità di prestazione, i termoriflettenti sono i più vantaggiosi dal punto di vista economico (rotoli di circa 16€/mq), seguono i VIP (pannelli che costano 200€/mq) e infine i PCM (circa 290€/mq). Questi ultimi presentano, in Europa, meno informazioni riguardanti sia le ditte che i relativi prodotti (*tab. 3 cap. 3.3*).

L'analisi in termini economici non è risultata completamente esaustiva: da un lato il campione di dati censito (*tab. 2,4 cap. 3.3*) riguardante i VIP e i termoriflettenti, non è rappresentativo del panorama europeo inizialmente definito, in quanto non è stato possibile reperire i costi di tutti i prodotti presenti sul mercato d'oggi. Dall'altro lato non è possibile considerare attendibile il costo medio dei PCM, poiché i prodotti finali presentano una diversa natura (che dipende dal materiale in cui le microcapsule di Phase change materials vengono applicate - lastra di cartongesso, pannello, intonaco, vetro). In mancanza di una parte di dati (soprattutto per i PCM), il confronto è valido ma non del tutto.

Impatti ambientali

Il confronto ambientale, a partire dalle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (*cap. 4*), ossia l'ultimo aspetto valutato in questa analisi, è stato eseguito solo per i Vacuum Insulated Panels e per gli isolanti Termoriflettenti. Sono stati scelti due materiali, ognuno rappresentativo di ciascuno dei due sistemi di isolamento termico: il pannello Vacupor, della ditta Porextherm e il rotolo multistrato Triso Super 10, della ditta Actis.

Sulla base delle loro EPD, è stata prodotta un'analisi LCA screening, considerando un progetto di riqualificazione a Madrid (*cap. 4.2*), per valutare gli impatti ambientali lungo le principali fasi del ciclo di vita di questi due isolanti, ossia:
- Fasi A1-A3: recupero delle materie prime, trasporto allo stabilimento e fase di produzione

- Fase A4: trasporto
- Fase A5: costruzione
- Fasi B1-B7: fase d'uso
- Fasi C1-C4: scenari di fine vita.

Parallelamente, è stata compiuta una valutazione LCA screening a partire dalla raccolta dati EPD di un pannello in lana di vetro, della ditta Saint-Gobain, per confrontare anche gli impatti di un isolante tradizionale con quelli di due ultraperformanti (i VIP e i materiali termoriflettenti) e stabilire così se questi ultimi potessero essere competitivi in termini ambientali.

Le tre soluzioni sono state analizzate contemporaneamente: CASO A (lana di vetro), CASO B (VIP) e CASO C (termoriflettenti). Dai risultati dei dieci indicatori di impatto ambientale selezionati, riguardanti i tre materiali isolanti e i loro rispettivi materiali di rivestimento (*cap. 4.2.2*), sono state ottenute le informazioni seguenti:

a) Potenziale riscaldamento globale (GWP).

I pannelli VIP e il relativo rivestimento hanno un impatto quasi tre volte superiore rispetto alle altre due soluzioni. Questo dato è sfavorevole, poiché significa che il contributo all'effetto serra, da parte dei gas serra (espressi in kg di anidride carbonica equivalenti), è notevolmente maggiore per questa soluzione di isolamento.

- CASO A: 54,3 kg di CO₂ equivalente, di cui il 23,21%;
- CASO B: 111,1 kg di CO₂ equivalente, di cui il 62,65%;
- CASO C: 50,4 kg di CO₂ equivalente, di cui il 17,55%.

b) Potenziale di esaurimento dello strato di ozono (ODP).

Il danneggiamento dello strato di ozono da parte di composti chimici (espressi in kg di triclorofluorometano R-11 equivalenti) è molto simile in tutte e tre le casistiche.

- CASO A: 5,13 E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 18,01%;
- CASO B: 4,92E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 14,56%;
- CASO C: 5,05E-06 kg di CFC-11 equivalente, di cui il 16,65%.

c) Potenziale di acidificazione (AP).

I pannelli VIP e il relativo rivestimento hanno un impatto più di tre volte superiore rispetto alle altre due soluzioni, mentre la lana di vetro risulta, invece, la meno impattante. Questo dato è sfavorevole per i VIP, poiché esso rappresenta la presenza di una maggiore quantità di sostanze che tendono ad acidificare (esprese in kg di SO₂ equivalenti) e, quindi, a contribuire al fenomeno delle piogge acide.

- CASO A: 0,104 kg di SO₂ equivalente, di cui il 22,39%;
- CASO B: 0,321 kg di SO₂ equivalente, di cui il 74,97%;
- CASO C: 0,114 kg di SO₂ equivalente, di cui il 29,58%.

d) Potenziale di eutrofizzazione (EP).

I pannelli VIP e il relativo rivestimento hanno un impatto quasi due volte superiore rispetto alla soluzione con la lana di vetro e quasi tre volte superiore rispetto ai termoriflettenti. Un eccessivo arricchimento di sostanze nutritive (quindi un aumento di fosfati e nitrati) tende a degradare l'ecosistema acquatico, modificando il suo equilibrio: nel caso dei pannelli VIP l'impatto di questo indicatore rappresenta un punto di debolezza.

- CASO A: 0,0407 kg di (PO₄)₃- equivalente, di cui il 29,37%;
- CASO B: 0,0594 kg di (PO₄)₃- equivalente, di cui il 51,66%;
- CASO C: 0,0335 kg di (PO₄)₃- equivalente, di cui il 14,25%.

e) Potenziale di creazione di ozono fotochimico (POCP).

Le soluzioni con la lana di vetro e i pannelli VIP (caso A e B) presentano un impatto simile. Nel caso C, i gas nocivi (espressi in kg di etilene equivalenti) che portano alla formazione di ozono troposferico sono notevolmente minori, e questo è un aspetto favorevole per i termoriflettenti.

- CASO A: 0,0293 kg di etilene equivalente, di cui il 63,52%;
- CASO B: 0,0325 kg di etilene equivalente, di cui il 67,08%;
- CASO C: 0,0139 kg di etilene equivalente, di cui il 23,07%.

f) Potenziale di esaurimento abiotico (ADPE).

Nel caso C, l'utilizzo di risorse abiotiche (luce, acqua, roccia, aria), esprese in kg di antimonio equivalente, risulta notevolmente limitato. Anche il caso B, con pannelli VIP, presenta una quantità due volte inferiore rispetto alla lana di vetro (A), che è invece quella che utilizza un maggior numero di risorse di questo tipo.

- CASO A: 32,9 kg di Sb equivalente, di cui il 50,00%;
- CASO B: 21,7 kg di Sb equivalente, di cui il 24,33%;
- CASO C: 16,5 kg di Sb equivalente, di cui il 0,17%.

g) Potenziale di esaurimento abiotico per risorse fossili (ADPF).

I pannelli VIP e il relativo rivestimento hanno un impatto quasi tre volte superiore rispetto alla soluzione con lana di vetro. Questo è un aspetto sfavorevole per essi, in quanto l'energia utilizzata proveniente da fonti di origine fossile è maggiore. La percentuale del caso C non include l'impatto dell'isolante termoriflettente, ma solo del suo rivestimento, a causa della mancanza di dati.

- CASO A: 554 MJ, di cui il 18,22%;
- CASO B: 1.510 MJ, di cui il 69,91%;
- CASO C: 545 MJ, di cui il 16,84%.

h) Energia primaria rinnovabile (PERT).

Il caso B presenta un impatto quasi quattro volte superiore rispetto alle altre due soluzioni, e consuma dunque una quantità maggiore di energia primaria che, anche se rinnovabile, è pur sempre importante e non illimitata.

- CASO A: 126 MJ, di cui il 15,09%;
- CASO B: 570 MJ, di cui il 81,27%;
- CASO C: 133 MJ, di cui il 19,63%.-

i) Energia primaria non rinnovabile (PENRT).

I pannelli VIP e il relativo rivestimento hanno un impatto quasi tre volte superiore rispetto alle altre due soluzioni, quindi vi è un utilizzo di energia proveniente da fonti non rinnovabili molto più elevato.

- CASO A: 612 MJ, di cui il 21,53%;
- CASO B: 1.670 MJ, di cui il 71,19%;
- CASO C: 642 MJ, di cui il 25,29%.

l) Uso di acqua fresca (FW).

Il caso B e il caso C (VIP, termoriflettenti e i rispettivi rivestimenti) hanno un consumo d'acqua (espresso in metri cubi) decisamente superiore rispetto alla soluzione con la lana di vetro.

- CASO A: 0,0192 mc di acqua fresca, di cui il 74,30%;
- CASO B: 0,679 mc di acqua fresca, di cui il 99,27%;
- CASO C: 5,61 mc di acqua fresca, di cui il 99,91%.

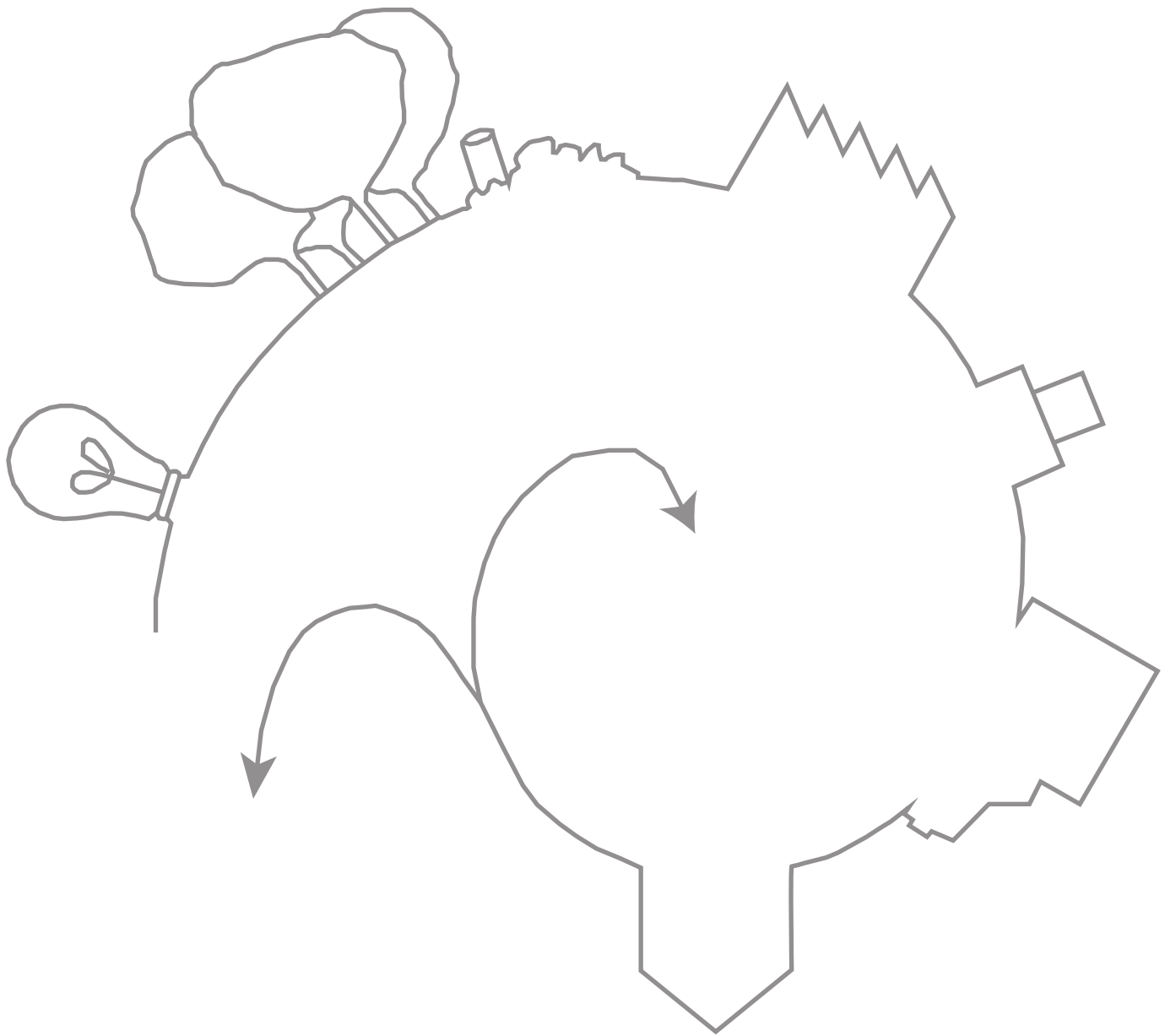
La valutazione LCA screening, svolta nel capitolo 4, è stata compiuta a partire dalle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) di ciascun materiale che compone il sistema facciata; queste sono state selezionate poiché rappresentative della propria categoria ma, nel caso degli isolanti termoriflettenti e dei pannelli VIP, il reperimento di un solo documento per materiale ha portato ad una scelta obbligata. Sarebbe dunque utile trovare ulteriori EPD (magari di prodotti brevettati recentemente) per poter avere un confronto più ampio ed efficace.

Gli indicatori presi in considerazione non rappresentano la totalità di quelli presenti nelle valutazioni LCA, ma una buona parte: l'analisi di questi ha permesso di valutare sia le fasi più impattanti dei materiali isolanti (ultraperformanti e tradizionali) lungo l'intero ciclo di vita (*tabelle 9-16*), quindi, in particolar modo, la fase di produzione (A1-A3) e la fase di fine vita (C1-C4), sia la percentuale di impatto che l'isolante e il suo relativo rivestimento hanno sul sistema parete.

Lo studio svolto potrebbe essere integrato, per una maggiore completezza di informazioni, con i dati degli impatti della fase di riuso e riciclo (modulo D).

Infine, i dati finali ottenuti in termini di impatto ambientale, lungo l'intero ciclo di vita, riguardano esclusivamente l'applicazione di un cappotto esterno con un isolante tradizionale e con due ultraperformanti in un progetto di riqualificazione (lana di vetro è il caso A, VIP il caso B e termoriflettenti il caso C). Sarebbe interessante poter paragonare i risultati ottenuti sia con una soluzione architettonica differente da quella scelta (ad esempio, un cappotto interno), sia con un edificio di nuova costruzione, sempre applicandovi gli stessi tre materiali isolanti presi in considerazione.

Questo lavoro, dunque, si è occupato dell'analisi specifica di alcuni materiali isolanti di nuova generazione, a partire in particolare dai loro aspetti compositivi ed economici, fino agli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita di essi. Tuttavia, è necessario valutare tutti gli aspetti e le variabili su cui si basa un determinato progetto, consapevoli del fatto che la scelta dell'isolante è solamente il primo passo verso una progettazione energeticamente efficiente.



6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA TEMATICA RAGIONATA

1. INTRODUZIONE: INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA E OBIETTIVI DELLA RICERCA

1.1 NUOVE ESIGENZE E NUOVI MATERIALI

1.2 EFFICIENZA ENERGETICA E INNOVAZIONE

Volumi in lingua originale:

- Battisti Alessandra, Tucci Fabrizio,
(2000), *Ambiente e Cultura dell'Abitare*, Edizioni Librerie Dedalo, Roma
- Butera Federico,
(1992), *Energia e tecnologia fra uomo e ambiente. Complementi di fisica tecnica per architetti*, CittàStudi, Milano
- Cannaviello Monica,
(2010), *Prestazioni dell'involucro in regime estivo. Criteri per la riqualificazione energetica*, Alinea Editrice, Firenze
- Casaburi Riccardo, Prato Fabrizio, Vineis Dario,
(2016), *Manuale pratico per la Progettazione sostenibile*, Legislazione Tecnica, Roma
- Chiapponi Medardo,
(1999), *Ambiente: gestione e strategia. Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*, Feltrinelli Editore, Milano
- Gallo Cettina,
(2000), *La qualità energetica ed ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano
- Gallo Paola,
(2005), *Progettazione sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze
- Gorgone Jonathan, Messina Giuseppe, Russo Fabrizio,
(2015), *Progettare e riqualificare le pareti per l'efficienza energetica. Chiusure verticali opache e trasparenti*, Maggioli Editore
- Iannaccone Giuseppe, Imperadori Marco, Masera Gabriele,
(2014), *Smart - ECO Building Toward 2020/2020. Innovative Technologies for Resource Efficient Buildings*, Springer, Milano
- Imperadori Marco,
(1999), *Le procedure Struttura/Rivestimento per l'edilizia sostenibile. Tecnologie dell'innovazione*, A.C.E.B., Maggioli Editore
- Lavagna Monica,
(2006), *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per involucri eco-efficienti*, Libreria Clup, Milano
- Losasso Mario,
(2005), *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Cleam edizioni, Napoli
- Mesera Gabriele,
(2004), *Residenze e risparmio energetico. Tecnologie applicative e linee guida progettuali per la costruzione di abitazioni sostenibili*, Il Sole 24 ore, Milano
- Rava Paolo,
(2007), *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica la sostenibilità*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna
- Torricelli Maria Chiara, Del Nord Romano, Felli Paolo,
(2001), *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Laterza
- Tucci Fabrizio,
(2000), *Ecoefficienza dell'involucro architettonico*, Editrice Librerie Dedalo, Roma
- Zanelli Alessandra,
(2000), *Ricerche di tecnologia dell'architettura*, Clup, Milano

Sitografia:

- <http://old.tekneco.it/bioedilizia/materiali-isolanti-innovativi/>
- <http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle-543/>
- *La riqualificazione energetica del patrimonio edilizio pubblico "L'importanza strategica dell'efficienza energetica, le politiche europee e una introduzione agli strumenti finanziari"* - consultato il 7-09-17 nel sito [http://www.settimanabioarchitetturae-domotica.it/altreedizioni/edizioni%20passate_2012/settimana_2012/edizioni%20passate/settimana_2011/ PDF/LUNPOM/ RONCHI.pdf](http://www.settimanabioarchitetturae-domotica.it/altreedizioni/edizioni%20passate_2012/settimana_2012/edizioni%20passate/settimana_2011/PDF/LUNPOM/ RONCHI.pdf)
- <https://abs.green.it/callforpapers/>
- <https://www.ingegneri.cc/phase-change-material-e-isolanti-di-ultima-generazione.html>
- http://www.edilportale.com/csmartnews/isolanti-termici-di-nuova-generazione-xenergy-e-styrofoam-dow_12885.html
- <https://www.ingegneri.cc/phase-change-material-e-isolanti-di-ultima-generazione.html>
- https://www.researchgate.net/profile/Massimo_Rossetti/publication/236587658
- <http://biblus.acca.it/materiali-isolanti-innovativi-per-linvolucro-edilizio/>
- <http://old.tekneco.it/bioedilizia/materiali-isolanti-innovativi/>
- <https://www.e-weber.it>
- <https://www.archdaily.com/>

- *Nuovi materiali e soluzioni innovative per l'isolamento termico* - consultato il 17-09-17 nel sito www.matech.it/download-s/websiteMat/news/519/Matech_isolamento_termico.pdf
- *Materiali isolanti, nuove tendenze in architettura* - consultato il 15-09-17 nel sito http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/materiali-/Materiali_Isolanti.pdf
- *I materiali isolanti della nuova generazione* - consultato il 27-09-17 nel sito http://www.comune.bergamo.it/upload/bergamo_ecm8/gestionedocumentale/Masera%20-%20%20Isolanti%20innovativi_5681.pdf
- *Tecnologie ad alta prestazione e il futuro dossier della progettazione architettonica* - consultato il 8-10-17 nel sito file: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fiorito/publication/318983705_High_Performance_Technologies_and_the_future_of_architectural_design/

Articoli su periodici:

- Arbizzani Eugenio, et alii,
(2015), "*Soluzioni Smart per la riqualificazione degli edifici residenziali sociali: ricerche ed esperienze internazionali*", *Techne*, n. 10, p. 220-230
- Ferrari Luca,
(2016) "*I materiali a cambiamento di fase*", *Tecnologia*, nov., p. 42-47
- Fiorito Francesco, Santamouris Mattheos,
(2017), "*Tecnologie ad alta prestazione e il futuro dossier della progettazione architettonica*", *Techne*, n.13, p. 72-76
- Imperadori Marco,
(2006), "*Realizzazioni innovative, linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile. Tecnologia e Progetto*", *Il Sole 24 ORE*, 09/2006, p. 445

Tesi di Laurea:

- Federico Flavio Lumina, Elisa Mutti, Ilaria Polese,
(2014-2015), *Arca Project. Architecture of Resilience and Community Accomodation*, Marco Imperadori, Politecnico di Milano, Scuola di Ingegneria Edile/Architettura
- Rossi Monica,
(2008-2009), Tesi di dottorato, *Prodotti e sistemi di involucro innovativi per il progetto di edifici energeticamente efficienti. Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali per un'applicazione nel Sud Europa*, Augusto Vitale, Università degli studi di Napoli "Federico II", Scuola di dottorato in tecnologia dell'architettura

2. INNOVAZIONE NEI SISTEMI DI ISOLAMENTO ULTRAPERFORMANTI

2.1 PANNELLI ISOLANTI SOTTOVUOTO - VACUUM INSULATED PANELS (VIP)

Volimi in lingua originale:

- Losasso Mario,
(2005), *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Cleam edizioni, Napoli

Sitografia:

- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- www.vip-bau.ch
- *Alla ricerca del superisolante perfetto* - consultato il 30-11-2017 nel sito http://aktarus-edilizia.com/wp-content/uploads/2013/03/CASACLIMA_Alla-ricerca-del-superisolante-perfetto_Ottobre-2012.pdf
- <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.3101/full>
- www.vacunanex.it/prodotti.html
- <https://www.ediltermika.biz/prodotto/vacunanex-lo-isolante-sottile>
- www.edilportale.com/aziende/actis_70796.html
- <https://www.impresedili.it/isolamento-termico-e-nanotecnologie-pannelli-vacunanex-di-nuova-generazione.html>
- www.leonardo.tv/articoli/isolanti-i-materiali-per-lisolamento-termico
- www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/.../file
- <https://www.ingegneri.cc/isolamento-termoacustico-i-pannelli-isolanti-sottovuoto.html>
- http://www.casaenergetica.it/vacuum_insulation_panel_%28vip%29.html
- <https://www.impresedili.it/coibentazione-vip-vacuum-insulation-panels.html>
- <http://www.vacuum-panels.co.uk>

- <http://www.nanopore.com/vip.html>
- <http://www.kingspan.com/meati/en-in/product-groups/insulation/knowledge-base/faqs/general/what-is-a-vacuum-insulation-panel>
- <https://www.aerosil.com/product/aerosil/en/industries/thermal-insulation/vacuum-insulation-panels/pages/default.aspx>
- <http://www.turvac.eu/>
- <https://materia.nl/material/vip-vacuum-insulated-panel>
- <https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/1358072>
- <http://www.sofrigam.com/advantages-disadvantages-vip-insulated-shipping-packaging>
- <http://www.mayaterials.com/vacuum-insulation-panels>
- <http://www.builddifferent.co.uk/vacuum-insulation-panel>
- <http://vipa-international.com/vacuum-insulation-panels>
- http://www.tutorcasa.it/progettazione-e-tecnologie/pannelli_isolanti_sottovuoto_hm-415.html
- <http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/pannelli-isolanti-sottovuoto-ecologici-222/>
- <http://www.ideegreen.it/pannelli-isolanti-sottovuoto-33159.html>
- <http://biblus.acca.it/quando-si-usano-i-pannelli-isolanti-sottovuoto-ecco-le-caratteristiche-e-gli-impieghi/>
- <http://www.nordtex.it/shop/prodotti/isolanti/pannelli-sottovuoto-vacum/pannelli-sottovuoto-vacum/>
- <http://www.rifaidate.it/pareti-solai/isolamento/pannelli-isolanti-sottovuoto.asp>
- www.bifire.it
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215028465>
- *Vacuum Insulation Panel Properties and Building Applications* - consultato il 8-10-17 nel sito http://www.ecbcs.org/docs/Annex_39_Report_Summary_Subtask-A-B.pdf
- *Pannelli isolanti sotto vuoto Una tecnologia per la riduzione dei consumi energetici in ambito industriale, civile e domestico* - consultato il 8-10-17 nel sito [http://datastorage02.maggioli.it/data/docs/www.ingegneri.cc/manini_2010_12\[1\].pdf](http://datastorage02.maggioli.it/data/docs/www.ingegneri.cc/manini_2010_12[1].pdf)

2.2 MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE - PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)

Volumi in lingua originale:

- Tucci Fabrizio,
(2000), *Ecoefficienza dell'involucro architettonico*, Editrice Librerie Dedalo, Roma
- Gallo Paola,
(2005), *Progettazione sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze

Sitografia:

- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- <http://www.polimerica.it/articolo.asp?id=3502>
- <http://www.pcmproducts.net>
- <http://www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-pcm-0>
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200576X>
- <https://www.coolairaustralia.com/phase-change-materials>
- <http://www.architetto.info/news/progettazione/guida-ai-pcm-i-materiali-a-cambiamento-di-fase/>
- <http://www.ingegneri.info/news/edilizia/materiali-a-cambiamento-di-fase-in-edilizia-principi-e-applicazioni/>
- <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/materiali-cambiamento-fase-involucro-737/>
- http://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/materiali_a_cambiamento_di_fase.html
- <https://www.construction21.org/italia/articles/it/materiali-a-cambiamento-di-fase-ecologici-pcm.html>
- http://www.casaclima.com/ar_8874__TECH-Ricerche-pcm--calore--rilascio--materiali--cambiamento-di-fase-PCM-sviluppi-di-applicazione-dalledilizia-al-solare.html
- http://www.abaxservice.it/?page_id=582
- <http://www.pcmproducts.net/>
- <http://www.puretemp.com/stories/understanding-pcms>
- www.rgees.com/technology.php
- www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-pcm-0
- www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642514000358
- <https://www.phasechange.com>
- www.rinnovabili.it/storico/pcm-e-nanogel-il-futuro-dei-materiali-ultra-efficient
- *I materiali a cambiamento di fase* - consultato il 20-09-17 nel sito <http://www.lucaferrari.info/wp-content/uploads/2017/02/I-materiali-a-cambiamento-di-fase-RCI9nov16.pdf>

- *I materiali isolanti di nuova generazione* – consultato il 7-10-17 nel sito http://www.comune.bergamo.it/upload/bergamo_e cm8/gestionedocumentale/Masera%20-%20%20isolanti%20innovativi_5681.pdf- *A review on phase change materials integrated in building walls* - consultato il 7-10-17 nel sito <https://hal.inria.fr/file/index/docid/541875/filename/ACL19.pdf>
- *Application of Phase Change Material in Buildings* – consultato il 7-10-17 - <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.5045&rep=rep1&type=pdf>
- *Phase Change Material for Building Envelope* – consultato il 7-10-17 - http://www.2017energyexchange.com/wp-content/tracks/track2/T2S4_Sawafta.pdf
- *Termofisica dell'involucro edilizio* – consultato il 5-10-17 - http://www.scuolaestivafisicatecnica.ing.unisannio.it/materiale_didattico/Prof_Principi/Principi_2.pdf
- *I materiali a cambiamento di fase* – consultato il 10-10-17 - <http://www.lucaferrari.info/wp-content/upload-s/2017/02/I-materiali-a-cambiamento-di-fase-RCI9nov16.pdf>
- *PCM in edilizia* – consultato il 7-10-17 - http://www.matech.it/downloads/websiteMat/news/360/Matech_PCM.pdf
- *Materiali PCM* – consultato il 7-10-17 - http://comieco.media.mweb.pro/allegati/2013/9/de-nardo---pcm_129347.pdf
- <http://www.mygreenbuildings.org/2014/12/14/materiali-a-cambiamento-di-fase-e-involucro-edilizio.html>

Tesi di Laurea:

- Mantoan Alicia
(2015-2016), Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Civile, *Phase-Change Materials. Analisi delle tipologie, proprietà, applicabilità e valutazione del comportamento termico nelle pareti degli edifici*, Mario De Giorgi, Università degli studi Guglielmo Marconi, Facoltà di scienze e tecnologie applicate

2.3 ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI

Sitografia:

- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- https://www.ecoideedilizia.it/isolamento_termico_acustico/materiali-isolanti-tecnologici-termoriflettenti/
- <http://www.solarcrest.co.uk/foil-insulation.asp>
- <http://biblus.acca.it/isolanti-termoriflettenti/>
- www.casaclima.com/ar_21302__QUESITI-TECNICI-FAQ-INVOLUCRO
- <https://www.thenbs.com/knowledge/specifying-multi-layer-reflective-foil-insulation-systems>
- <http://www.vanoncini.it/categorie-prodotti/isolante-termoriflettente-stratificato-actis-triso>
- <http://www.energeticambiente.it/sistemi-passivi/14748293-test-su-isolante-termoriflettente-tetto.html>
- <http://www.ingegneri.info/forum/viewtopic.php?f=9&t=19560>
- http://www.edilportale.com/prodotti/over-all/isolante-termoriflettente-multistrato /over-foil-multistrato-19-superquilt_74608.html
- <http://www.vanoncini.it/termoriflettenti-stratificati>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-layer_insulation
- <https://www.ediltermika.biz/prodotto/isolanti-termo-riflettenti>
- <http://www.malagolispa.it/isolanti-termoriflettenti-actis/>
- <http://www.energeticambiente.it/sistemi-passivi/14748293-test-su-isolante-termoriflettente-tetto.html>
- <http://ed8c3i2f.dotests.com/>
- <http://www.1src.com/topic/actis-posa-termoriflettenti-su-un-muro>
- http://www.archiproducts.com/it/notizie/actis-per-la-riqualificazione-energetica-dell-involucro- storico-del-filandone-di-martinengo_32670
- <http://www.aislamiento-actis.com/fichenews.php? p=7&l=5&codenews=464&vert= 2&typenews=2>
- *Smart Swap Building* – consultato il 11-11-17 - <https://alldocs.net/smart-swap-building-tv-tecnologie-e-progetti-per-costruire-nel-costruito-pdf>
- *Isolamento termoriflettente energeticamente perfetto* – consultato il 11-11-17 <http://img.edilportale.com/catalogs/prodotti-74608-catd65e755f0829419ba02cd0f16315e060.pdf>

- 3. VIP, PCM, ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: APPLICAZIONI
- 3.1 APPLICAZIONI A CONFRONTO: CONSIDERAZIONI SU ESEMPI EUROPEI ED EXTRAEUROPEI
- 3.2 BREVE ANALISI DI ALCUNI CASI STUDIO

Sitografia:

- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- <http://www.atelier2.it/opere/e3-cognola/?lang=it>
- <http://www.vanoncini.it/news/c-asa-un-progetto-sperimentale-il-nuovo-ufficio-sport-lecco>
- <http://www.vanoncini.it/case-history/residenza-cognola-classe-gold-bergamo>
- <http://legnolamellare.net/>
- *Applicazioni Actis* – consultato il 26-10-17 - <http://www.actis-isolamento.it/news/139pdf15.pdf>
- *Edificio Energicamente Efficiente* – consultato il 26-10-17 - <http://www.vanonciniclassea.it/e3/EEE.pdf>
- *Edificio Energicamente Efficiente a Cognola* – consultato il 26-10-17 - http://www.comune.lodi.it/lodisostenibile/scaricabili/energia/003_atelier2.pdf
- *Repertorio di edilizia sostenibile* – consultato il 26-10-17 - http://bat.cestec.it/c/document_library/get_file?uuid=089ad71b-1802-492f-8bb9-c2299efb88b4&groupId=12970
- *Ad alta efficienza* – consultato il 28-10-17 - <http://www.actis-isolamento.it/news/140pdf15.pdf>
- *Sustainable Design and Urban Planning* - consultato il 28-10-17 - http://www.formazioneoic.it/sites/default/files/rivista%20odin%2019_9_2017.pdf
- <http://www.legambienteinnovazione.org/precedentiedizioni/edizioni/2008/section.php?p=schedaid=514>
- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/eng/home>
- <https://www.arketipomagazine.it/plusenergiehauser-a-friburgo/>
- <http://www.werkstatt-stadt.de/de/projekte/22/>
- <http://www.welt.de/sonderthemen/light-und-building/article12627817/Freiburgs-Solarsiedlung-als-Vorzeigeprojekt.html>
- *Friburgo: la sostenibilità energetica nell'architettura di oggi Percorso formativo per architetti e urbanisti*, Periodo: maggio/novembre 2010 - consultato il 15-09-17 nel sito <https://www.professionearchitetto.it/viaggi/archivio/file/2010/05/Friburgo.pdf>
- <https://www.archdaily.com/>
- <https://www.domusweb.it/it/home.html>
- <https://www.theplan.it/>
- <https://www.german-architects.com/pt/projects/view/smart-is-green>
- <http://zillerplus.de/project/smart/?lang=en>
- <http://www.iba-hamburg.de/en/themes-projects/bauausstellung-in-der-bauausstellung/smart-material--houses/-smart-is-green/projekt/smart-is-green.html>
- <https://www.arketipomagazine.it/smart-is-green-ad-amburgo-zillerplus-architekten/>
- <http://www.microteklabs.com/micronal-case-studies.html>
- <https://architizer.com/projects/smart-is-green-case-study-house-iba-hamburg-2013/>
- <https://www.open-iba.de/en/geschichte/2006-2013-iba-hamburg/die-bauausstellung-in-der-bauausstellung/>
- <http://www.alamy.com/stock-photo-international-building-exhibition-iba-hamburg-smart-is-green-building-75411308.html>
- <https://alchimag.net/architettura/smart-is-green-pcm-i-materiali-a-cambiamento-di-fase/>
- <https://www.espazium.ch/facciate-hightech-per-case-lowtech>
- <https://www.detail-online.com/article/marche-international-support-office-zero-energy-architecture-in-switzerland/>
- <https://www.australian-architects.com/en/projects/view/marche-international-support-office-minergie-r-p-eco-null-energie-burogebaude>
- *Smart is Green* – consultato il 25 - 10 -17- http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Slideshows_post2013/02_Wissen/01_Whitepaper/130813_WP_smartistgruen_en.pdf
- *GlassX* – consultato il 10 -11-17 - http://www.sci-network.eu/fileadmin/templates/sci-network/files/Resource_Centre/Guide/05_Innovative_technologies_template_-_final_GlassX.pdf
- *Support Office Marché Internationale* – consultato il 10-11-17 - <http://www.immofield.ch/immobilien/data/buerobauxmarche.pdf>
- *Example of special features* - consultato il 10-11-17 - https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/0812_ph-summerschool_11_04_ph_and_pcms.pdf
- *Haus Der Gegenwart* – consultato il 7-11-17 - http://www.allmannsattlerwappner.de/_data/projekte/pdf/ASW_Haus_der_Gegenwart_de.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-layer_insulation

Tesi di Laurea:

- Rossi Monica,
(2008-2009), Tesi di dottorato, *Prodotti e sistemi di involucro innovativi per il progetto di edifici energeticamente efficienti. Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali per un'applicazione nel Sud Europa*, Augusto Vitale, Università degli studi di Napoli "Federico II", Scuola di dottorato in tecnologia dell'architettura

Articoli su periodici:

- (2009), "*Marché International Support Office*", DetailGreen, n.9, p. 32-39

3.3 LA PRODUZIONE DI MATERIALI ULTRAPERFORMANTI NEL MERCATO ATTUALE

3.4 ISOLANTI DI ULTIMA GENERAZIONE A CONFRONTO

Sitografia:

- <http://www.greenbuildingadvisor.com/product-guide/prod/dow-corning-vacuum-insulation-panels>
- *Dow Corning. Vacuum insulated panel* - consultato il 10-2-17 - <https://www.pharosproject.net/uploads/files/sources/2129/1333572876.pdf>
- <http://www.porextherm.com/en/products/vacupor.html>
- *Environmental product declaration. Porextherm Vacupor* - consultato il 12-2-17 - http://www.vacuum-panels.co.uk/wp-content/uploads/2016/08/EPD-Porextherm_englisch-30.03.2015.pdf
- <http://www.hanitacoatings.com/>
- <http://www.vaqtec.com/>
- <https://www.kingspan.com/group/>
- <http://www.bifire.it/>
- <http://www.turvac.eu/>
- <http://www.variotec.de/>
- <http://www.vacu-isotec.de/>
- <https://www.vaku-isotherm.de/de/index>
- <http://www.bauder.it/>
- <http://www.isolmant.com/it/>
- <https://www.rexor.com/>
- <http://www.decorus.it/>
- <http://www.actis-isolamento.com/>
- <http://www.vanoncini.it/categorie-prodotti/isolante-termoriflettente-stratificato-actis-triso>
- <http://www.over-foil.com/>
- <http://isopack.it/>
- <https://www.basf.com/it/it.html>
- <http://www.dupont.it/>
- <http://www.glassxpcm.com/>
- <http://www.knauf.it/>
- <http://www.rigips.ch/trockenbau/mps-fi~1.ch/site/inde~451.htm>
- <http://www.insolcorp.com/>
- *Environmental product declaration. Actis Triso Super 10* - consultato il 15-2-17- <https://www.insulationsuperstore.co.uk/user/u/files/actis-%20triso-super10-plus-dop.pdf>
- <http://www.tlxinsulation.co.uk/tlx-silver/tlx-silver.aspx>
- <http://www.peg-isolation.fr/en/products/thin-and-multilayer-isolators>
- <http://www.aluthermo.com/en/aluthermo-products>
- <https://www.reflectixinc.com/products/double-reflective-insulation/>
- *Lastra in gesso massiccio Alba Balance* - consultato il 18-1-17- http://www.gypsum4wood.ch/domains/gypsum4wood_ch/appBuilder/syncFiles/docs/prodmgmt/PDB_Alba%20balance_IT.pdf
- *Isolamento tetti, sottotetti e pareti verticali* - consultato il 18-1-17- <http://www.actis-isolamento.com/files/actis/pdfs/it-scheda-tecnica/ACTIS-scheda-tecnica-TRISO-SUPER-10-PLUS-PZ453-1015.pdf>
- *Vacupor NT data sheet* - consultato il 18-1-17- http://www.porextherm.com/images/anhaenge/db_nt_en.pdf

4. VIP E ISOLANTI TERMORIFLETTENTI STRATIFICATI: RIQUALIFICAZIONE DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE A MADRID

4.1 STRATEGIE PREVENTIVE PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE: LA METODOLOGIA LCA

4.2 LCA SCREENING: IL CASO STUDIO DI MADRID

Sitografia:

- <https://www.solidworks.it/sw/products/simulation/life-cycle-assessment.html>
- <https://www.eebguide.eu/>
- <http://www.etichettaambientale.it/lca.html>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Life_Cycle_Assessment
- <http://www.greenreport.it/nome-rubrica/lca/>
- <http://www.certiquality.it/products/LCA-Life-Cycle-Assessment/>
- <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>
- https://www.lifegate.it/persona/news/lca_life_cycle_assessment
- <http://www.ambienteitalia.it/servizi/impronta-ambientale-e-politiche-di-prodotto/life-cycle-assessment-lca/>
- <http://biblus.acca.it/valutazione-del-ciclo-di-vita-lca/>
- <http://www.mygreenbuildings.org/2010/12/20/lca-analisi-ciclo-di-vita-prodotti-processi.html>
- *EeBGuide-B-FINAL-PR_2012-10-29* - consultato il 27-2-18 - <https://www.eebguide.eu/>
- *ISO 14040 - Environ. manag. - LCA - Principles and framework* - consultato il 27-2-18 - <https://www.iso.org/>
- *ISO 14044 - Environ. manag. - LCA - Requirements and guidelines* - consultato il 27-2-18 - <https://www.iso.org/>
- *A5_waste_WRAP NW Tool Data Report* - consultato il 27-2-18 - <http://nwtool.wrap.org.uk/Documents/WRAP%20NW%20Tool%20Data%20Report.pdf>

