



Ricerca di Sistema elettrico

Indici di valutazione economica e ambientale di soluzioni per l'isolamento di facciata in off-site construction

S. Ubertini, I. Baffo, M. Barbanera, A. Cardarelli

INDICI DI VALUTAZIONE ECONOMICA ED AMBIENTALE DI SOLUZIONI PER L'ISOLAMENTO DI FACCIATA IN OFF-SITE CONSTRUCTION

S. Ubertini, I. Baffo, M. Barbanera, A. Cardarelli (CINTEST)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo : N. 1 - Tecnologie

Progetto: 1.6 – Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Work package: 2 - Miglioramento dell'efficienza energetica di processi di produzione e di gestione dell'ambiente costruito

Linea di attività: LA2.14 - Indici di valutazione economica e ambientale di soluzioni per l'isolamento di facciata in off-site construction

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work package: Maria-Anna Segreto, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Ottimizzazione della Supply Chain e dell'intero processo produttivo di soluzioni standardizzate per l'isolamento termico"

Responsabile scientifico ENEA: Francesco Baldi

Responsabile scientifico CINTEST: Ilaria Baffo

Indice

Sommario	4
1. Introduzione	5
2. Raccolta dati e calcolo degli impatti	6
2.1. Fase di produzione: Modulo A1 – A2 – A3	8
2.2. Fase di costruzione: Modulo A4 – A5	33
2.3. Fase di fine vita: Modulo C4	35
3. Determinazione benchmark di riferimento	35
3.1. Fase di produzione	36
3.2. Fase di costruzione.....	42
3.3. Fase di fine vita.....	43
3.4. Vita utile dei sistemi ETICS	44
4. Determinazione costi sistema ETICS	45
4.1. Life Cycle Costing (LCC)	45
4.2. Costi di realizzazione dei sistemi ETICS	48
4.3. Costi di rimozione del sistema ETICS.....	49
5. Strumento informatico di calcolo	50
6. Best practices nei processi di produzione dei materiali	56
7. Conclusioni	59

Sommario

Il presente Rapporto tecnico costituisce l'output dell'attività di ricerca svolta nell'anno 2021 dal Cintest nell'ambito del progetto di Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali realizzato all'interno del partenariato composto da ENEA, Università di Messina, Università di Roma La Sapienza, Politecnico di Milano. In particolare, è stata sviluppata una metodologia per il confronto dei processi di realizzazione di diversi sistemi di isolamento a facciata (external thermal insulation composite systems, ETICS), basata sul concetto di ciclo di vita e che consente di determinare la soluzione economicamente ed ambientalmente più sostenibile a parità di resistenza termica raggiunta. Nel dettaglio, è stato definito un benchmark di riferimento per le prestazioni ambientali dei sistemi ETICS che impiegano diversi materiali isolanti, tra cui EPS e lana minerale, al variare dello spessore dell'isolante. A tale scopo sono state raccolte le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto attualmente pubblicate a livello europeo e le pubblicazioni scientifiche relative a questo tema e, per ciascun sistema ETICS analizzato, sono stati definiti i valori di impatto ambientale di riferimento per le principali fasi della supply chain (produzione, installazione e smaltimento). Tali esternalità ambientali sono quindi state monetizzate e i costi indiretti sono stati sommati ai costi diretti associati alla realizzazione del sistema ETICS per determinare un indicatore di sintesi, espresso in €/m²K/W. Tale metodologia è stata implementata all'interno di un foglio di calcolo pensato per migliorare la conoscenza da parte degli operatori del settore delle performance economico-ambientali dei sistemi ETICS, individuando facilmente quali sono le fasi del ciclo di vita maggiormente impattanti e sui cui può essere utile intervenire per migliorare la sostenibilità dell'intero sistema.

1. Introduzione

Il WP2 del progetto ha l'obiettivo di definire un catalogo di configurazioni costruttive standard per soluzioni di facciata da realizzare in modalità off-site che, attraverso la raccolta e diffusione di informazioni chiave relative alle modalità costruttive e alle prestazioni di tali configurazioni, ne agevoli la scelta da parte degli utenti finali, consentendo di accedere alla riqualificazione degli immobili con costi ridotti.

In tal senso, in linea con quanto previsto dall'attività WP2 – LA2.14 eseguita dal CINTEST si è provveduto alla progettazione di un sistema di misurazione delle performances dei processi appartenenti alla supply chain delle soluzioni esistenti per l'isolamento termico di facciata in caso di ristrutturazioni parziali e deep renovation, attraverso la definizione di un set di indicatori per la misura delle prestazioni di efficacia ed efficienza dei processi monitorati. Sulla base delle informazioni raccolte in merito alle performances ambientali di diversi sistemi a cappotto, si è proceduto al calcolo di un indicatore di sintesi espresso in $\text{€}/(\text{m}^2\text{K}/\text{W})$ che tiene conto di aspetti quali:

- le prestazioni termiche della soluzione durante la sua vita utile;
- la durabilità nel tempo della soluzione stessa;
- il prezzo di mercato e di posa in opera;
- gli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita del sistema (dalla produzione allo smaltimento), con particolare attenzione ai processi di produzione, trasporto e smaltimento del materiale isolante.

A tale scopo è stato definito un benchmark di riferimento relativo ad alcune tipologie di sistemi di isolamento a cappotto, i cui dati ambientali sono stati determinati tramite Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (Environmental Product Declaration - EPD). Tali EPD, attualmente pubblicate sia a livello nazionale che europeo, hanno permesso di valutare le differenze per ciascuna categoria di impatto analizzate tra diversi produttori al fine di validare il benchmark di riferimento. Tali benchmark sono stati infine utilizzati per definire specifici contributi per ogni tipo di soluzione contenente materiali isolanti all'interno degli attuali schemi incentivanti. Da questo tipo di analisi è stato possibile definire quali sono le soluzioni e quindi le relative configurazioni di processo maggiormente performanti dal punto di vista economico-ambientale, ovvero quelle soluzioni su cui andare a proporre alternative migliorative rispetto ai risultati ottenuti nei processi esistenti, basandosi non soltanto sulle prestazioni del sistema una volta installato ma tenendo conto dell'intero ciclo vita delle varie parti che compongono la soluzione individuata. Questo ha incluso anche i costi e gli impatti ambientali legati alle fasi della supply chain che, in base alle analisi di letteratura, sono state identificate come quelli di maggior rilevanza: i processi di produzione del materiale isolante, le varie fasi di trasporto, lo smaltimento finale. L'analisi proposta è stata applicata a due delle soluzioni precedentemente (LA2.7, LA2.8) identificate ed analizzate: sistema con EPS e sistema con lana minerale. Alla fine dello studio è stata esaminata anche la potenzialità di recupero, riciclo e reimpiego dei materiali componenti i sistemi di isolamento a cappotto al fine di perseguire obiettivi di circular economy.

Lo strumento sviluppato consente di definire indici di valutazione economica ed ambientale di soluzioni per l'isolamento di facciata off-site construction, tra cui anche quelle individuate nella LA2.5 nel caso in cui il tool sia implementato con i relativi dati di benchmark di riferimento. I progettisti possono usare tale strumento per scegliere tra soluzioni tecniche alternative, mentre i produttori per definire l'impatto del proprio prodotto e individuare azioni di ottimizzazione e miglioramento ambientale nel processo di produzione o nelle catene di fornitura. In particolare, le imprese produttrici possono anche utilizzarlo per valutare, da un punto di vista quantitativo, i benefici economici e ambientali derivanti dall'applicazione di azioni mirate alla riprogettazione dei processi aziendali, così come riportato nella LA2.9. Infine le pubbliche amministrazioni possono avvalersi di questo metodo per individuare le strategie di azione più efficaci da promuovere all'interno dei piani e delle politiche.

2. Raccolta dati e calcolo degli impatti

In Italia, dal 2008, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha adottato, con il Decreto Interministeriale dell'11 aprile 2008, il "Piano Nazionale d'Azione sul Green Public Procurement" (PAN GPP). Il Piano Nazionale di Azione sul GPP definisce in modo chiaro gli acquisti della Pubblica Amministrazione, attraverso la definizione degli strumenti che caratterizzano i processi di acquisto "sostenibili", i criteri ambientali da inserire nei capitolati di gara, e la valorizzazione della "premierità" in sede di aggiudicazione fase delle procedure di acquisto. Il GPP è uno strumento di politica ambientale che favorisce lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale attraverso la leva della domanda pubblica, contribuendo, in modo determinante, al raggiungimento degli obiettivi delle principali strategie europee come quella sull'uso efficiente delle risorse o quella sull'Economia Circolare. Le autorità pubbliche che intraprendono azioni di GPP si impegnano sia a razionalizzare acquisti e consumi che ad incrementare la qualità ambientale delle proprie forniture ed affidamenti. La politica degli appalti pubblici in chiave sostenibile è diventata uno strumento valido che può aiutare la trasformazione economica, ma le tecniche per migliorare i criteri di remunerazione devono basarsi su metodologie e principi che siano trasparenti, accessibili e comparabili. L'analisi del ciclo di vita del prodotto (Life Cycle Assessment - LCA) e l'analisi dei costi di accompagnamento durante tutto il ciclo di vita del prodotto (Life Cycle Costing - LCC) sono entrambi metodi praticabili. In quest'ottica, conoscere gli impatti ambientali dei prodotti che vengono utilizzati negli appalti diventa una prerogativa fondamentale.

Il settore edilizio è uno dei maggiori responsabili delle alterazioni ambientali. Da solo è responsabile del 40% delle emissioni di anidride carbonica mondiale, del 36% del consumo energetico globale, di oltre il 50% dell'estrazione delle materie prime e di 1/3 del consumo di acqua. Negli ultimi 10 anni il pianeta ha aggiunto circa 50 miliardi di metri quadrati di nuova superficie cementificata. Parte integrante dell'European Green Deal o Patto Verde europeo, l'insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione europea con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050, sono le nuove strategie per rinnovare il patrimonio immobiliare pubblico e privato. Il settore delle costruzioni offre una grande leva per lo sviluppo, ed è essenziale per l'Europa per raggiungere il suo ambizioso obiettivo entro il 2050. Secondo un'indagine svolta nel 2021 dall'EAE, l'Associazione Europea per i Sistemi a cappotto ETICS, l'uso di tali sistemi può fornire un contributo fondamentale a raggiungere tale meta. È stato stimato che nell'area geografica europea nel 2020, nonostante i limiti imposti dalla pandemia, siano state rivestite superfici con sistema a cappotto ETICS per un totale di 332 milioni di mq.

ETICS è l'abbreviazione di External Thermal Insulation Composite System, i cosiddetti Sistemi a Cappotto, cioè quelle soluzioni certificate e realizzate con materiali le cui proprietà sono state verificate e certificate come compatibili fra loro.

L'obiettivo dell'attività WP2 – LA2.14 è quello di determinare i costi dei sistemi ETICS valutati in funzione dello spessore del materiale isolante impiegato. Tali costi rappresentano la somma dei costi diretti e indiretti. I costi diretti rappresentano il costo dei vari materiali impiegati nel sistema a cappotto, della manodopera per la fase di installazione e del noleggio di attrezzature e ponteggi (Par. 4.2). I costi indiretti invece rappresentano i costi associati alle esternalità ambientali. Per la determinazione di questi ultimi, ai fini del nostro studio, sono state dapprima selezionate le fasi più significative del ciclo di vita di un prodotto (Figura 1) e, per ciascuna fase, è stata determinata una metodologia per la stima degli impatti associati. In particolare, per la fase di produzione (A1 - A3) i dati degli impatti ambientali sono stati estrapolati da varie dichiarazioni ambientali di prodotto o da studi LCA di pubblicazioni scientifiche, al fine di determinare un benchmark di riferimento (raccolta dati impatti ambientali) che fornisca, al variare dello spessore del materiale isolante, gli impatti ambientali del sistema ETICS. Mentre, per la fase di costruzione e fine vita i dati sono stati elaborati avvalendosi dei processi già esistenti all'interno del database di Ecoinvent, caricato

all'interno del software SimaPRO. Inoltre è stata applicata una metodologia specifica per tenere conto della durabilità dei sistemi a cappotto e quindi della relativa vita utile.

Per ciascuna fase sono state selezionate le categorie di impatto ambientale generalmente analizzate in uno studio LCA, tra cui:

- Global Warming Potential (GWP) espresso in kg CO₂ eq.: Fenomeno di riscaldamento globale dell'atmosfera, dovuto all'emissione in atmosfera di gas ad effetto serra quali anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), etc.
- Ozone Depletion Potential (ODP) espresso in kg CFC-11 eq.: Degradazione e riduzione, causata dai clorofluorocarburi (CFC) o dai clorofluorometani (CFM), della fascia di ozono presente nella stratosfera per filtrare la componente ultravioletta dei raggi solari grazie ai suoi composti particolarmente reattivi.
- Acidification Potential (AP) espresso in kg SO₂ eq.: Abbassamento del pH di suoli, laghi, foreste, a causa dell'immissione in atmosfera di sostanze acide, con conseguenze dannose sugli organismi viventi (es. "piogge acide"). L'indicatore è espresso in kg SO₂ eq (anidride solforosa) e in mol H⁺ eq (moli di idrogeno).
- Eutrophication Potential (EP) espresso in kg PO₄³⁻eq.: Riduzione dell'ossigeno presente nei corpi idrici e necessario per gli ecosistemi a causa dell'eccessivo apporto di sostanze nutrienti quali azoto e fosforo. L'indicatore è espresso in kg PO₄³⁻ eq (fosfato), kg N eq (azoto) e mol N eq (moli di azoto).
- Formation potential of tropospheric ozone (POCP) espresso in kg Ethene eq.: Formazione di ozono a livello di superficie terrestre dovuto all'immissione in atmosfera di idrocarburi incombusti e ossidi di azoto in presenza di radiazione solare. Tale fenomeno è dannoso per gli organismi viventi, ed è spesso presente nei grandi centri urbani. L'indicatore è espresso in kg Ethene eq.
- Abiotic Depletion Potential (ADP-minerals) for non-fossil resources espresso in kg Sb-eq.: Potenziale di deplezione abiotico per risorse minerali non fossili espresso in kg Sb-eq
- Abiotic Depletion Potential (ADP-fossil) for fossil resources espresso in MJ: Potenziale di deplezione abiotico per risorse fossili espresso in MJ.

Infine, tali esternalità ambientali sono state convertite sottoforma di contributo economico mediante l'utilizzo di metodi di monetizzazione (Par. 4.1).

L'output di questa linea di attività è dunque la determinazione di un indicatore capace di identificare il sistema a cappotto più vantaggioso in termini di costi diretti e costi associati alle esternalità ambientali (indiretti), al fine di supportare la definizione di range di ammissibilità di spesa per misure incentivanti quali conto termico e/o detrazioni fiscali. Inoltre, vuole incrementare l'interesse degli utenti finali rispetto a questo tipo di intervento edilizio grazie ad una migliore, più efficace e più semplice conoscenza dell'intero processo anche attraverso il ricorso di misure incentivanti.



Figura 1: Fasi del ciclo vita del prodotto

2.1. Fase di produzione: Modulo A1 – A2 – A3

Per questa fase di produzione, la metodologia messa a punto per la determinazione e stima degli impatti ambientali prevede la definizione di un benchmark di riferimento. Tale benchmark è stato costruito a partire dai dati di impatto ambientale reperiti in letteratura, avvalendosi di EPD e pubblicazioni scientifiche. L'obiettivo è quello di determinare, per ciascun sistema ETICS, il valore degli impatti ambientali (benchmark) al variare dello spessore del materiale isolante considerato.

La Dichiarazione Ambientale di Prodotto (Environmental Product Declaration), o EPD, è uno schema di certificazione volontaria di prodotto/servizio, nato in Svezia ma di valenza internazionale, sviluppato in applicazione della norma UNI ISO 14025:2006 – Etichettatura Ambientale di Tipo III. Si tratta di un documento che permette di comunicare in modo trasparente informazioni oggettive, confrontabili e credibili relative alla prestazione ambientale di qualsiasi prodotto o materiale nel corso della sua vita mediante l'applicazione della metodologia LCA (Life Cycle Assessment). L'EPD è un potente strumento di comunicazione in quanto fornisce informazioni oggettive e certificate in merito:

- ✓ alle caratteristiche tecniche del prodotto (es. descrizione tecnica, unità funzionale, ecc.);
- ✓ alla performance ambientale del prodotto (es. carbon footprint, water footprint, emissioni di gas GHG e acidificanti, eutrofizzazione, ecc...)
- ✓ a ulteriori caratteristiche legate al ciclo di vita del prodotto (es. manutenzione del prodotto, possibilità di riciclaggio, ecc..)
- ✓ alla trasparenza sullo studio effettuato (es. impostazione studio LCA, software utilizzato, Ente di Certificazione verificatore, ecc..).

Esistono diverse tipologie di EPD che un'Organizzazione, in funzione delle proprie esigenze, può scegliere di sviluppare e, quindi, di sottoporre a verifica:

- *EPD di Prodotto*: contenente la descrizione degli impatti ambientali relativi al ciclo di vita di uno o più prodotti simili della stessa Organizzazione.
- *EPD di Settore*: contenente la dichiarazione degli impatti ambientali associati ad un “prodotto medio”, realizzato da diverse organizzazioni nell’ambito di un preciso settore e/o di un’area geografica definita.
- *EPD di Processo*: prevede che l’Organizzazione definisca un sistema interno per la stesura, la verifica e l’aggiornamento di EPD per i propri prodotti. In questo caso, oggetto della verifica e convalida sarà il processo definito dall’Organizzazione per la gestione di tali attività. L’organizzazione che ha ottenuto una certificazione EPD di processo può redigere autonomamente le proprie dichiarazioni ambientali di prodotto.

Nel settore delle costruzioni, le EPD supportano la riduzione delle emissioni di carbonio consentendo di confrontare gli impatti di diversi materiali e prodotti al fine di selezionare l'opzione più sostenibile. L'uso delle EPD nei progetti di costruzione e produzione è volontario. Tuttavia, il loro uso sta rapidamente crescendo in linea con la consapevolezza degli impatti ambientali. Sia le parti interessate pubbliche che quelle private chiedono sempre più EPD. In tal senso, ingegneri, architetti e designer sono in grado di scegliere l'opzione più sostenibile per il loro progetto. Contemporaneamente, la crescente consapevolezza ambientale nelle aziende odierne costringe i consumatori a influenzare la produzione e l'offerta di prodotti sul mercato selezionando e utilizzando articoli rispettosi dell'ambiente, convenienti in termini di rapporto prestazioni/costo e completamente conformi alle prestazioni richieste. Gli acquirenti devono affrontare la sfida di selezionare articoli rispettosi dell'ambiente, il cui effetto ambientale complessivo è riconosciuto come conseguenza di analisi quantitative e standardizzate che coprono tutta la loro vita (produzione, vita in loco e smaltimento finale).

In linea con quanto previsto dall’attività WP2 – LA2.14, sono stati raccolti il maggior numero possibile di studi LCA (dichiarazioni ambientali di sistemi ETICS o pubblicazioni scientifiche) riferiti a vari tipi di isolante considerati: EPS, XPS, Lana Minerale (MW), Sughero e Poliuretano (PU). Da tali studi sono stati estrapolati i valori degli impatti ambientali associati alla fase di produzione.

Il ciclo di produzione prevede l’estrazione e la lavorazione delle materie prime in ingresso al sistema (A1), il trasporto delle materie prime dal fornitore allo stabilimento produttivo e trasporto dei prodotti lavorati all’hub di smistamento (A2) e i processi di lavorazione dei materiali svolti all’interno del sito produttivo (A3), come ad esempio la miscelazione dei prodotti, il confezionamento e l’imballaggio, il trasporto al magazzino e lo stoccaggio.

Nella tabella seguente (Tabella 1) sono riportati gli studi raccolti con le indicazioni sitografiche. Nel dettaglio, sono state analizzate 10 EPD che hanno un riferimento diretto che le ditte produttrici del sistema ETICS e 3 studi LCA risultanti da una pubblicazione scientifica, nominate rispettivamente Paper 1, 2 e 3.

Tabella 1: Raccolta studi LCA

Studio	Isolante	Sitografia
Mapei	EPS	
	XPS	Data (environdec.com)
	MW	
Baumit	EPS	https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjGp8qGnM31AhVAIP0HHeAKAdgQFnoECAQQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.itb.pl%2Fg%2F%2F3493%2C7-baunit-epd-etics-itb-edited.pdf&usg=AOvVaw1H_eO9mPHPJVZOa3JwTcOt
Atlas	EPS	ETICS silikatowe_RGB_www.pdf (atlas.com.pl)
WDVS	MW	
	EPS	Published EPDs Institut Bauen und Umwelt e.V. (ibu-epd.com)
VDPM	MW	
	EPS	Published EPDs Institut Bauen und Umwelt e.V. (ibu-epd.com)
Gruppo Puma	MW	
	EPS	https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjZo_Ownc31AhXG8qQKHVd8BqMQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F2071-1050%2F13%2F24%2F13705%2Fpdf&usg=AOvVaw1_yZsG0aL6CMYGgWlpWgYk
Berger	EPS	
	XPS	Data (environdec.com)
	MW	
Paper 1	EPS	https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1943152
Paper 2	EPS	https://doi.org/10.3390/su12114532
	MW	
Paper 3	EPS	https://doi.org/10.3390/buildings10030047
	EPS	https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDteKWns31AhUilPOHHcmCAKEQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.itb.pl%2Fg%2F%2F2589%2Chenkel-classic-eps.pdf&usg=AOvVaw00z1ylm9p3UVgCAffvtbwo
Henkel	XPS	
	MW	
	EPS	
San Marco	MW	Data (environdec.com)
	PU	
	EPS	
Settef	MW	EPD-Settef-2021.pdf
	Sughero	

Ciascuno studio è stato analizzato nel dettaglio, da cui sono stati estrapolati i dati necessari per la successiva fase di analisi dati, ossia la realizzazione del benchmark di riferimento.

Di seguito si riportano le caratteristiche di ciascun studio esaminato con i relativi dati di impatto ambientale associato a ciascun sistema a cappotto.

Mapei

Fondata nel 1937 a Milano (Italia), Mapei oggi è il maggior produttore mondiale di adesivi e prodotti chimici per edilizia. Il Gruppo Mapei conta attualmente 81 aziende consociate, con un totale di 73 stabilimenti produttivi ognuno dei quali è dotato di un laboratorio di controllo qualità, situati in tutto il mondo, in 33 paesi e in 5 continenti. Mapei ha anche 18 laboratori di Ricerca e Sviluppo. La maggior parte delle consociate sono certificate ISO 9001, ISO 14001 o EMAS. Alla ricerca Mapei ha da sempre dedicato grande importanza, investendo in R&S il 12% dei propri dipendenti e oltre il 5% del fatturato di cui, in particolare, il 70% è destinato allo sviluppo di prodotti eco-sostenibili, che rispettano l'ambiente e soddisfano i requisiti dei

programmi per edilizia eco-sostenibile LEED e BREEAM. L'obiettivo dello studio condotto dalla Mapei è quello di fornire i dati e la documentazione necessarie per produrre una EPD secondo quanto dettato dalle PCR derivanti dalla norma EN15804: 2014 e PCR Environdec, versione 2.01 del 2016/03/09, e di dichiarare gli impatti ambientali relativi ai componenti inclusi in tre sistemi termici a cappotto. Mapetherm AR1 GG, Quarzolite e Silancolor sono prodotti nello stabilimento di Mapei SpA situato a Robbiano di Mediglia (MI-ITALY), nel corso dell'anno 2016, sono stati considerati anche i componenti del packaging dei singoli componenti dei sistemi. I pannelli utilizzati, i tasselli e la rete in fibra di vetro, sono invece prodotti da fornitori di Mapei SpA.

Lo studio ha analizzato gli impatti ambientali dei Sistemi termici a cappotto con tre differenti pannelli:

- Mapetherm EPS (polistirene espanso)
- Mapetherm XPS (polistirene estruso)
- Mapetherm M.Wool (lana minerale).

Ciascuno dei tre sistemi studiati è stato valutato con due differenti sistemi di finitura:

- Quarzolite Base Coat (Primer) + Quarzolite Tonachino (Finitura).
- Silancolor Base Coat + Silancolor Tonachino.

Nel dettaglio, Quarzolite Base Coat è un fondo acrilico pigmentato, per esterni ed interni, uniformante, riempitivo e promotore di adesione; Quarzolite Tonachino è un rivestimento acrilico a spessore per esterni ed interni, a elevata protezione e riempimento; Silancolor Base Coat è un fondo silossanico pigmentato per esterni ed interni, uniformante, riempitivo e idrorepellente; Silancolor Tonachino è un rivestimento silossanico a spessore per esterni ed interni, idrorepellente, traspirante ad elevato riempimento.

I principali componenti dei sistemi analizzati, con il relativo quantitativo espresso in kg/m², sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2: Componenti e materiali del sistema ETICS Mapetherm

Componenti	<i>Mapetherm EPS 8 cm</i>	<i>Mapetherm XPS 8 cm</i>	<i>Mapetherm MW 8 cm</i>
	Peso [kg/m ²]	Peso [kg/m ²]	Peso [kg/m ²]
Collante	4.50	4.50	4.50
Isolante	1.60	2.60	6.00
Rasante	5.20	5.20	5.20
Rete fibra vetro	0.16	0.16	0.16
Finitura	2.60	2.60	2.60
Primer	0.30	0.30	0.30
Tasselli	0.16	0.16	0.16

Il ciclo di vita oggetto dell'analisi ha riguardato i moduli da A1 ad A3 (vale a dire, dall'estrazione della materia prima al prodotto finito consegnato al cancello della fabbrica), dove A1 è l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la lavorazione del materiale secondario, compresi i processi di riciclaggio, A2 viene trasportato al produttore e A3 è la produzione. La tabella seguente (Tabella 3) mostra gli impatti ambientali per il prodotto considerato secondo la metodologia CML (2010 - Apr2013, versione 4.2).

Tabella 3: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dello studio MAPEI

Indicatore	Unità	EPS	EPS	XPS	XPS	MW	MW
		Quarzolite	Silancolor	Quarzolite	Silancolor	Quarzolite	Silancolor
		A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.08E+01	1.07E+01	1.31E+01	1.31E+01	2.43E+01	2.43E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.44E-07	1.23E-06	8.29E-07	1.12E-06	1.85E-06	2.14E-06
AP	kg SO ₂ eq.	3.34E-02	3.37E-02	3.70E-02	3.73E-02	9.08E-02	9.10E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.94E-03	3.78E-03	4.34E-03	4.18E-03	1.52E-02	1.50E-02
POCP	kg Ethene eq.	3.06E-02	3.06E-02	9.59E-03	9.60E-03	5.96E-03	5.97E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	6.56E-03	6.29E-03	6.57E-03	6.29E-03	6.57E-03	6.29E-03
ADP-fossil	MJ	2.21E+02	2.20E+02	2.92E+02	2.91E+02	3.21E+02	3.20E+02

Per un maggiore dettaglio, sono stati estrapolati gli impatti in percentuale dovuti ai singoli componenti di ciascun sistema ETICS (EPS, XPS, MW) (Tabella 4).

Tabella 4: Caratteristiche ambientali (%) del sistema EPS, XPS e MW con Quarzolite / Silancolor

EPS con Quarzolite / Silancolor							
Componenti	GWP [%]	ODP [%]	AP [%]	EP [%]	POCP [%]	ADP-Mineral [%]	ADP-Fossil [%]
Collante	12.6	5.8	2.5	12.0	1.6	0.0	5.8
Isolante	40.8	11.0	29.0	25.0	84.0	0.0	55.5
Rasante	15.2	7.6	3.4	12.6	2.5	0.0	6.7
Rete fibravetro	4.2	0.0	5.0	3.4	0.8	0.0	3.8
Primers	1.3	7.6	5.8	2.1	0.4	0.0	1.6
Finitura	13.0	60.6	41.3	32.4	2.9	81.7	13.5
Tasselli	5.0	3.0	5.0	4.2	0.4	0.0	4.2
XPS con Quarzolite / Silancolor							
Collante	12.0	7.0	3.0	11.0	6.0	0.3	5.0
Isolante	55.0	0.0	37.0	32.0	67.0	0.0	69.0
Rasante	11.0	8.0	3.0	13.0	8.0	0.0	6.0
Rete fibravetro	3.0	0.0	4.0	2.0	1.0	0.0	3.0
Primers	0.3	6.0	5.0	1.0	0.5	10.0	0.3
Finitura	11.0	76.0	40.0	30.0	11.0	86.0	12.0
Tasselli	4.2	0.1	5.0	4.2	2.1	0.0	3.4
MW con Quarzolite / Silancolor							
Collante	12.0	7.0	3.0	11.0	6.0	0.3	5.0
Isolante	55.0	0.0	37.0	32.0	67.0	0.0	69.0
Rasante	11.0	8.0	3.0	13.0	8.0	0.0	6.0
Rete fibravetro	3.0	0.0	4.0	2.0	1.0	0.0	3.0
Primers	0.3	6.0	5.0	1.0	0.5	10.0	0.3
Finitura	11.0	76.0	40.0	30.0	11.0	86.0	12.0
Tasselli	4.2	0.1	5.0	4.2	2.1	0.0	3.4

Baumit

Nel 1810, da un forno a calce, si sviluppò uno dei maggiori produttori in Europa di materiali edili di successo. Nel 1988 dalla collaborazione di due aziende austriache leader nel mercato dei materiali da costruzione, la Wopfinger Baustoffe e il gruppo Wieterdorfer, nasce il marchio Baumit.

Baumit Pro è un nome commerciale per un sistema composito di isolamento termico esterno (ETICS) basato su EPS immesso sul mercato da BAUMIT Bulgaria EOOD. Il sistema Baumit Pro è destinato alla protezione delle facciate e alla soluzione di design sia nei nuovi edifici che nei progetti di ristrutturazione. I componenti

inclusi nell'ETICS, con il relativo quantitativo espresso in kg/m^2 , sono riportati in Tabella 5. L'ETICS è dichiarato con tre opzioni per l'intonaco che differiscono per il composto legante attivo: GranoporTop, SilikonTop e SilikatTop. Tutti gli intonaci citati sono a strato sottile, pronti per l'uso, simili a pasta, fabbricati in fabbrica che formano lo strato di finitura con una trama graffiata e trascinata. Sono resistenti agli agenti atmosferici, altamente idrorepellenti, permeabili al vapore e lavabili. GranoporTop è costituito da leganti organici, due frazioni di sabbia fine frantumata, pigmenti, additivi e acqua. SilikonTop è costituito da resina siliconica e leganti organici, due frazioni di sabbia fine frantumata, pigmenti, additivi e acqua. SilikatTop è costituito da leganti minerali a base di vetro d'acqua di potassio (silicato), due frazioni di sabbia fine frantumata, pigmenti, additivi e acqua.

Tabella 5: Componenti e materiali del sistema ETICS Baumit

Baumit Pro EPS 10 cm	
Componenti	Peso [kg/m^2]
Collante	5.00
Isolante	1.50
Rasante	3.00
Rete fibra vetro	0.15
Finitura	2.50
Primer	0.20
Tasselli	0.20

Le informazioni sul processo di produzione della malta, del primer e degli intonaci per incollaggio e rivestimento sono raccolte da BAUMIT Bulgaria EOOD, come le informazioni sul trasporto e la composizione dei componenti. Le informazioni sul processo di produzione di additivi e altri pre-prodotti pertinenti sono modellati utilizzando i dati generici del database ecoinvent v.3.6.

Il ciclo di vita oggetto dell'analisi ha riguardato i moduli da A1 ad A3: A1 rappresenta la fornitura e il trasporto di materie prime; A2 il trasporto delle materie prime al sito produttivo; A3 la produzione.

Il modulo A1 descrive l'acquisizione di materie prime e la produzione di pre-prodotti. I processi di produzione del pietrisco calcareo, del cemento Portland, della calce idrata, della perlite espansa e degli additivi sono considerati utilizzando i dati di riferimento per il database ecoinvent. Viene considerata anche la produzione di materiali di imballaggio utilizzando i dati di riferimento del database ecoinvent. Nel modulo A2, il trasporto in fabbrica di tutti gli ingredienti, componenti e materiali di imballaggio è considerato utilizzando i dati reali del produttore. Il modulo A3 include il processo di produzione vero e proprio: questo include il processo di frantumazione, essiccazione, setacciatura, dosaggio, confezionamento e pallettizzazione. Il consumo di energia, acqua e carburante è considerato per intero sulla base dei dati di consumo di 1 anno forniti dal produttore.

I risultati dell'analisi LCA sono raccolti in

Tabella 6.

Tabella 6: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dello studio Baumit

Indicatore	Unità	<i>EPS con GranoporTop</i>	<i>EPS con SilikonTop</i>	<i>EPS con SilikatTop</i>
		A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.09E+01	1.14E+01	1.10E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	2.25E-06	8.46E-07	5.95E-07
AP	mol H+ eq.	4.17E-02	4.40E-02	4.20E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	8.72E-02	2.29E-03	2.23E-03
POCP	kg NMVOC eq.	1.15E-01	4.66E-02	4.51E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.19E-04	1.10E-04	1.19E-04
ADP-fossil	MJ	8.04E+02	2.17E+02	2.08E+02

Atlas

Atlas è uno dei maggiori produttori europei di prodotti chimici per l'edilizia. I prodotti offerti dall'azienda trovano impiego nella realizzazione e ristrutturazione di edifici residenziali, strutture pubbliche e locali industriali. Atlas ETICS comprende pannelli isolanti (incollati e fissati meccanicamente) con sotto strato rinforzato e finiture decorative. Il sistema è completo e dotato di una vasta scelta di adesivi, fondi, intonaci e rivestimenti decorativi di vari colori. Il sistema offre una varietà di soluzioni a seconda delle esigenze degli investitori, dei progettisti edili e dei lavoratori edili. Atlas ETICS è completamente certificato e le specifiche esatte sono personalizzate per soddisfare i requisiti di ogni progetto, sia residenziale che commerciale, in conformità con tutte le normative edilizie vigenti in Polonia. Atlas ETICS fornisce, come materiale isolante, l'EPS e la lana minerale (MW). L'EPD elaborata da Atlas fornisce le caratteristiche ambientali del sistema con il pannello isolante in EPS al variare dello spessore del pannello (10, 12, 15, 20 cm) utilizzando una finitura in silicati, mentre quelle utilizzando il pannello in MW sono presentate a seconda del tipo di mano di finitura (minerale, siliconica o siliconica-silicati (mista)) e dello spessore dei pannelli: 10, 12, 15, 20 e 25 cm. Le due EPD, per l'EPS e MW, sono state redatte rispettivamente nel 2014 e 2019.

I quantitativi dei componenti utilizzati per il sistema ETICS EPS sono mostrati di seguito nella Tabella 7. Per il sistema con la lana minerale, l'EPD non riportava alcun riferimento dei quantitativi dei componenti utilizzati.

Tabella 7: Componenti e materiali del sistema ETICS Atlas

Atlas EPS 10-12-15-20 cm	
Componenti	Peso [kg/m ²]
Collante	4.00-5.00
Isolante	2.00-4.00
Rasante	3.00-3.50

Rete fibravetro	Non indicato
Finitura	2.50-3.00
Primer	0.05-0.20
Tasselli	Non indicato

L'analisi del ciclo di vita dei prodotti esaminati copre i moduli A1-A3 (dalla culla al cancello) in conformità con EN 15804. Comprende la produzione, inclusa l'estrazione delle materie prime e la fornitura di energia fino al prodotto finito e confezionato al cancello della fabbrica. Sono stati ignorati i processi il cui contributo totale al risultato finale, in base alla massa osservata, è inferiore allo 0,5%.

I risultati dell'analisi LCA sono riportati in

Tabella 8 per il sistema ETICS con EPS e finitura in silicati, al variare dello spessore, mentre in Tabella 9 per quello con MW al variare dello spessore e dello strato di finitura.

Tabella 8: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS con EPS dello studio Atlas

Silicate render		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.19E+01	1.33E+01	1.52E+01	1.86E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	1.31E-06	1.32E-06	1.35E-06	1.38E-06
AP	kg SO ₂ eq.	3.78E-02	4.21E-02	4.86E-02	5.94E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.30E-03	4.80E-03	5.40E-03	6.40E-03
POCP	kg Ethene eq.	4.60E-03	4.90E-03	5.30E-03	5.90E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.30E-01	1.40E-01	1.66E-01	2.10E-01
ADP-fossil	MJ	1.99E+02	2.33E+02	2.84E+02	3.70E+02

Tabella 9: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS con MW dello studio Atlas

Mineral render		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	2.64E+01	3.50E+01	3.71E+01	4.79E+01	5.86E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.21E-05	9.25E-05	9.26E-05	9.31E-05	9.35E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.03E-01	1.37E-01	1.45E-01	1.87E-01	2.30E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.22E-03	5.40E-03	5.69E-03	7.16E-03	8.63E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.28E-02	1.64E-02	1.73E-02	2.19E-02	2.64E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.38E-01	1.89E-01	2.01E-01	2.64E-01	3.27E-01
ADP-fossil	MJ	2.45E+02	3.35E+02	3.57E+02	4.70E+02	5.83E+02
Silicone render		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.72E+01	3.15E+01	3.79E+01	4.87E+01	5.94E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.21E-05	9.23E-05	9.26E-05	9.31E-05	9.36E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.07E-01	1.24E-01	1.50E-01	1.92E-01	2.34E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.53E-03	5.11E-03	6.00E-03	7.47E-03	8.94E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.33E-02	1.51E-02	1.79E-02	2.24E-02	2.70E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.43E-01	1.68E-01	2.06E-01	2.69E-01	3.32E-01
ADP-fossil	MJ	2.65E+02	3.10E+02	3.78E+02	4.90E+02	6.03E+02
Silicone-silicate render		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.83E+01	3.26E+01	3.90E+01	4.98E+01	6.05E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.28E-05	9.29E-05	9.32E-05	9.37E-05	9.42E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.11E-01	1.28E-01	1.54E-01	1.96E-01	2.38E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.69E-03	5.28E-03	6.16E-03	7.63E-03	9.10E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.49E-02	1.68E-02	1.95E-02	2.40E-02	2.86E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.50E-01	1.75E-01	2.13E-01	2.76E-01	3.39E-01
ADP-fossil	MJ	2.60E+02	3.05E+02	3.73E+02	4.86E+02	5.98E+02

VDPM e WDVS

L'associazione per i sistemi di isolamento, intonaco e malta (VDPM) e l'associazione fachverband-wdvs (WDVS) sono associazioni di produttori leader di sistemi ETICS. Entrambe promuovono il rispetto dei criteri di qualità per i sistemi ETICS e si sono affidate all'Istituto Bauen und Umwelt e. V. (IBU) per l'elaborazione volontaria delle certificazioni ambientali (EPD) dei loro prodotti. IBU è un'associazione di produttori di prodotti da costruzione che hanno unito le forze per gestire un programma internazionale di dichiarazione ambientale di prodotto. L'IBU è impegnata nell'edilizia sostenibile e ritiene che anche coloro che commercializzano i propri prodotti come sostenibili debbano essere in grado di dimostrarlo. Questo è esattamente ciò che sta facendo l'industria dei materiali da costruzione collaborando con l'IBU per creare dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD), uno strumento standardizzato e riconosciuto a livello internazionale per la certificazione di sostenibilità degli edifici.

Per l'EPD dei sistemi ETICS, sia VDPM che WDVS utilizzano come pannelli isolanti sia l'EPS che la lana minerale (MW). Per il pannello di EPS, sia VDPM che WDVS hanno considerato uno spessore pari a 16 cm, mentre per il pannello in MW, VDPM ha tenuto conto di uno spessore pari a 18 cm, mentre WDVS da 16 cm.

I componenti con i relativi consumi espressi in kg/m² per ciascun ETICS sono riportati in

Tabella 10.

Tabella 10: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi a VDPM e WDVS

Componenti	VDPM		WDVS	
	EPS 16 cm	MW 18 cm	EPS 16 cm	MW 16 cm
	Peso [kg/m ²]			
Collante	5.00	5.00	4.50	5.00
Isolante	2.66	17.1	2.66	22
Rasante	3.00	5.60	3.00	5.60
Rete fibrovetro	0.18	0.18	0.18	0.18
Finitura	3.00	3.00	3.00	3.50
Primer	Non usato	0.30	Non usato	Non usato
Tasselli	0.28	Non usato	0.08	0.28
Profilo in PVC	Non usato	Non usato	0.93	Non usato

Si specifica che WDVS inserisce nell'analisi LCA l'utilizzo di profili in PVC.

L'analisi del ciclo di vita dei prodotti esaminati copre i moduli A1-A3 (dalla culla al cancello), sia per i prodotti VDPM che WDVS. I risultati delle caratteristiche ambientali dei vari ETICS sono riportati in

Tabella 11.

Tabella 11: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dei riferimenti VDPM e WDVS

ETICS		VDPM		WDVS	
Indicatore	Unità	EPS 16 cm	MW 18 cm	EPS 16 cm	MW 16 cm
		A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	2.01E+01	2.64E+01	1.95E+01	2.47E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.61E-08	3.69E-07	4.43E-08	3.58E-07
AP	kg SO ₂ eq.	7.85E-02	1.97E-01	7.44E-02	1.71E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	5.61E-03	2.45E-02	5.10E-03	2.28E-02
POCP	kg Ethene eq.	6.57E-02	9.63E-03	6.63E-02	8.54E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.17E-04	7.08E-05	6.10E-05	9.50E-05
ADP-fossil	MJ	4.04E+02	3.71E+02	4.19E+02	3.30E+02

Per un maggiore dettaglio, sono stati estrapolati gli impatti in percentuale dovuti ai singoli componenti di ciascun sistema ETICS (EPS e MW) per ciascun studio, VDPM e WDVS (

Tabella 12).

Tabella 12: Caratteristiche ambientali (%) del sistema ETICS con EPS e MW dei riferimenti VDPM e WDVS

VDPM EPS							
Componenti	GWP [%]	ODP [%]	AP [%]	EP [%]	POCP [%]	ADP-Mineral [%]	ADP-Fossil [%]
Collante	16.4	27.5	10.2	20.6	1.3	Non definito	9.4
Isolante	40.0	71.2	23.0	30.0	93.7	Non definito	54.8
Rasante	20.0	0.6	25.9	21.3	2.4	Non definito	16.6
Rete fibra vetro	2.8	0.0	1.5	2.5	0.0	Non definito	2.0
Primers	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito
Finitura	2.4	0.6	39.0	25.5	2.6	Non definito	16.8
Tasselli	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito
VDPM MW							
Collante	13.2	4.0	5.0	5.0	10.3	Non definito	11.5
Isolante	68.8	89.0	89.7	89.3	80.0	Non definito	73.9
Rasante	10.4	5.0	2.5	3.5	5.6	Non definito	7.8
Rete fibra vetro	2.3	0.0	0.7	0.6	1.2	Non definito	3.0
Primers	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito
Finitura	5.3	2.0	2.0	1.6	2.9	Non definito	3.7
Tasselli	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito
WDVS EPS							
Collante + Tasselli	4.0	6.0	3.0	5.0	0.1	Non definito	2.0
Isolante	42.0	92.3	24.0	33.0	93.0	Non definito	53.0
Profilo in PVC	12.0	1.0	40.0	12.0	2.0	Non definito	13.0
Rasante	20.0	0.5	27.0	24.0	1.9	Non definito	14.0
Rete fibra vetro	3.0	0.0	1.0	2.0	0.0	Non definito	2.0
Finitura	19.0	0.2	5.0	24.0	3.0	Non definito	16.0
WDVS MW							
Collante + Tasselli	14.0	3.0	4.0	4.0	10.0	Non definito	12.0
Isolante	67.0	89.0	92.0	91.6	80.0	Non definito	73.0
Rasante	12.0	6.0	2.0	3.0	5.0	Non definito	8.0
Rete fibra vetro	2.0	0.0	0.5	0.4	1.5	Non definito	3.0
Finitura	5.0	2.0	1.5	1.0	3.5	Non definito	4.0

Gruppo Puma

Gruppo Puma è un gruppo di società specializzate nel mondo delle costruzioni. La sua esperienza di più di venticinque anni nel settore le consente di offrire una vasta gamma di prodotti di eccezionale e riconosciuta qualità. Il Gruppo Puma ha ventuno centri di produzione e distribuzione dislocati in tutta la geografia spagnola, due in Algeria, uno in Marocco, uno in Francia, uno in Costa Rica e due in Portogallo, dotati della tecnologia più avanzata per fornire la migliore copertura e servizio alla nostra gamma di prodotti. Con una capacità produttiva di oltre 1.000.000 di tonnellate/anno, Gruppo Puma si è affermato come il più grande produttore di malte in Spagna. Il Gruppo Puma è impegnato nella sostenibilità e nel rispetto dell'ambiente attraverso la gestione, lo sviluppo di nuove tecnologie e nuovi prodotti volti a raggiungere questo obiettivo. Tutti gli stabilimenti del Gruppo Puma hanno implementato un Sistema di Gestione Ambientale conforme alla norma ISO 14001.

Il Gruppo Puma ha elaborato la dichiarazione EPD per il sistema di isolamento termico esterno TRADITERM EPS prodotto in Spagna. L'EPD è stata basata sui dati di produzione per l'anno 2016. In

Tabella 13 si riportano i quantitativi espressi in kg/m² dei componenti del sistema.

Tabella 13: Componenti e materiali del sistema ETICS Gruppo Puma

Gruppo Puma EPS 6 cm	
Componenti	Peso [kg/m ²]
Collante	5.00
Isolante	1.03
Rasante	4.00
Rete fibrovetro	0.16
Finitura	2.12
Primer	0.22
Tasselli	0.07
Profilo in PVC	0.03-0.05

Le EPD predisposte secondo le Regole di Categoria Prodotto Malta si basano su moduli informativi definiti nella norma UNE-EN 15804. Nello specifico, la fase del prodotto (moduli A1-A3), la fase del processo costruttivo (moduli A4 -A5), la fase di uso (moduli B1-B7) e la fase di fine vita (moduli C1-C4). L'analisi del ciclo di vita si è basata su dati specifici del processo produttivo del sistema a cappotto, raccolti dai centri di produzione del Gruppo PUMA, dall'Ufficio Tecnico e dal Dipartimento R&D. I dati corrispondono alla produzione del 2016. In

Tabella 13 sono riassunte le caratteristiche ambientali del sistema ETICS del Gruppo Puma per i moduli A1-A3.

Tabella 14: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS dello studio del Gruppo PUMA

ETICS		Gruppo Puma EPS 6 cm
Indicatore	Unità	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	9.76E+00
ODP	kg CFC-11 eq.	8.01E-07
AP	kg SO ₂ eq.	3.53E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	7.11E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.35E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.74E-05
ADP-fossil	MJ	1.78E+02

Berger

Berger Paints India Ltd Group (Berger) è una multinazionale di proprietà indiana con presenza in 8 paesi, leader in alcuni ed esporta in oltre 25 paesi. Berger si colloca tra le prime 4 aziende di rivestimenti per superfici in Asia e tra le prime 10 a livello globale nei rivestimenti per l'architettura. La dichiarazione ambientale di prodotto del sistema a cappotto Berger ETICS fornisce informazioni per l'isolamento termico esterno e i sistemi compositi prodotti nello stabilimento di Berger Paints India Limited. L'EPD è conforme alle norme ISO 14025 ed EN 15804.

Berger ETICS (External Thermal Insulation & Composite Systems) è un sistema di isolamento termico efficacemente utilizzato per la protezione termica di edifici sia esistenti che nuovi, con aree di applicazione come soffitto, tetto, pavimento, parete e perimetro. Berger ETICS è un sistema di isolamento composito che viene installato in loco con componenti chiave prodotti nel loro stabilimento VVN e pochi altri provenienti dall'esterno. Il sistema ETICS, viene presentato mediante l'utilizzo di diversi isolanti, tra cui EPS (5, 7.5, 10 e

12 cm), XPS (5, 7.5 e 10 cm) e la lana minerale MW (5, 7.5, 10 e 12 cm). Complessivamente i sistemi a cappotto presentano una componentistica riassunta in

Tabella 15, con il relativo consumo espresso in kg/m².

Tabella 15: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Berger

ETICS	Componenti		
	EPS 5-7.5-10-12 cm	XPS 5-7.5-10-12 cm	MW 5-7.5-10-12 cm
Componenti	Peso [kg/m ²]	Peso [kg/m ²]	Peso [kg/m ²]
Collante	6	6	6
Isolante	1.32/1.98/2.64/3.17	2.06/3.09/4.12/4.95	7.26/10.89/14.52/17.42
Rasante	0.16	0.16	0.16
Rete fibra vetro	5.00	5.00	5.00
Finitura	0.14	0.14	0.14
Primer	0.10-0.40	0.10-0.40	0.10-0.40
Tasselli	1.92	1.92	1.92
Profilo in PVC	6.00	6.00	6.00

L'unità dichiarata per l'analisi LCA è 1 m² di sistema di isolamento termico Berger ETICS prodotto presso Berger Paints India Limited (India). Il metodo CML 2001 (gennaio 2016) sviluppato dall'Istituto di scienze ambientali, Università di Leiden, Paesi Bassi è stato selezionato per la valutazione degli impatti ambientali.

L'impatto ambientale per unità dichiarata è stato riportato nella EPD secondo la EN15804. Sono stati riportati in Tabella 16 i dati delle caratteristiche ambientali del modulo A1-A3.

Tabella 16: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS con EPS, XPS e MW dello studio Berger

ETICS		EPS 5 cm	EPS 7.5 cm	EPS 10 cm	EPS 12 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.05E+01	1.24E+01	1.43E+01	1.58E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.11E-10	5.11E-10	5.11E-10	5.12E-10
AP	kg SO ₂ eq.	3.76E-02	4.48E-02	5.20E-02	5.78E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.73E-03	4.30E-03	4.88E-03	5.33E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.56E-03	3.20E-03	3.83E-03	4.34E-03
ADP-minerals	kg \$b eq.	3.10E-05	3.15E-05	3.20E-05	3.24E-05
ADP-fossil	MJ	2.00E+02	2.54E+02	3.08E+02	3.52E+02
ETICS		XPS 5 cm	XPS 7.5 cm	XPS 10 cm	XPS 12 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.32E+01	1.64E+01	1.97E+01	2.22E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.11E-10	5.11E-10	5.12E-10	5.12E-10
AP	kg SO ₂ eq.	5.23E-02	6.68E-02	8.14E-02	9.31E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.39E-03	5.30E-03	6.21E-03	6.93E-03
POCP	kg Ethene eq.	5.24E-03	7.22E-03	9.19E-03	1.08E-02
ADP-minerals	kg \$b eq.	3.11E-05	3.17E-05	3.23E-05	3.27E-05
ADP-fossil	MJ	2.60E+02	3.45E+02	4.29E+02	4.97E+02
ETICS		MW 5 cm	MW 7.5 cm	MW 10 cm	MW 12 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.65E+01	2.13E+01	2.61E+01	2.99E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.15E-10	5.17E-10	5.19E-10	5.21E-10
AP	kg SO ₂ eq.	5.51E-02	7.11E-02	8.72E-02	1.00E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	9.22E-03	1.25E-02	1.59E-02	1.85E-02
POCP	kg Ethene eq.	2.23E-03	2.69E-03	3.16E-03	3.53E-03
ADP-minerals	kg \$b eq.	3.26E-05	3.39E-05	3.52E-05	3.62E-05
ADP-fossil	MJ	2.07E+02	2.66E+02	3.24E+02	3.70E+02

Henkel

Henkel opera in tutto il mondo con innovazioni, marchi e tecnologie all'avanguardia. Ha sede a Düsseldorf, in Germania, e impiega circa 50.000 persone in tutto il mondo. Henkel offre un'ampia gamma di prodotti speciali e soluzioni di sistema per soddisfare le esigenze dei professionisti dell'industria e dell'edilizia. HENKEL ETICS è un nome commerciale per External Thermal Insulation Composite System, che comprende pannelli isolanti (incollati e fissati meccanicamente) con sotto strato rinforzato e finiture decorative. Il sistema è completo e dotato di una vasta scelta di adesivi, fondi, intonaci e rivestimenti decorativi di vari colori. Il sistema fornisce una varietà di soluzioni a seconda delle esigenze degli investitori, dei progettisti di edifici e dei lavoratori edili. La tecnologia di isolamento termico è costituita da diversi materiali di isolante: pannelli di polistirene estruso (XPS); pannelli di polistirene espanso (EPS); pannelli di lana minerale (MW).

L'oggetto dell'EPD analizzata si basa sui documenti tecnici effettivi per la fabbrica HENKEL Operations Sp. z o.o. in Polonia e in altri stabilimenti HENKEL europei.

I dati relativi alla componentistica di cui sono composti i relativi ETICS per ciascun isolante con i corrispettivi consumi non sono stati riportati nell'EPD fornita da HENKEL.

L'analisi del ciclo di vita dei prodotti esaminati riguarda i moduli "Product Stage", A1-A3 (from Cradle to Gate) secondo EN 15804+A1 e ITB-PCR A. Nel dettaglio, le caratteristiche ambientali (LCA) per HENKEL ETICS sono riportate in

Tabella 17 e sono presentate a seconda:

- del tipo di finitura: minerale, acrilico, silicato, siliconico o misto (silicone-silicato);
- dello spessore dei pannelli di isolante di riferimento che vanno da 10 cm fino a 25 cm.

Tabella 17: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS con EPS, XPS e MW dello studio Henkel

Finitura acrilica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
Indicator	Unit	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.19E+01	1.49E+01	1.94E+01	2.68E+01	3.43E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.57E-05	5.57E-05	5.58E-05	5.59E-05	5.59E-05
AP	kg SO ₂ eq.	4.39E-02	5.36E-02	6.82E-02	9.24E-02	1.17E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.27E-03	3.86E-03	4.74E-03	6.22E-03	7.69E-03
POCP	kg Ethene eq.	3.40E-03	4.32E-03	5.71E-03	8.03E-03	1.03E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	4.56E-01	4.02E-01	4.47E-01	5.37E-01	6.27E-01
ADP-fossil	MJ	1.78E+02	2.28E+02	3.04E+02	4.31E+02	5.57E+02
Finitura ai silicati		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.15E+01	1.44E+01	1.89E+01	2.64E+01	3.38E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.82E-05	5.82E-05	5.83E-05	5.84E-05	5.85E-05
AP	kg SO ₂ eq.	4.90E-02	5.87E-02	7.32E-02	9.75E-02	1.22E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.55E-03	4.14E-03	5.02E-03	6.50E-03	7.97E-03
POCP	kg Ethene eq.	3.80E-03	4.73E-03	6.12E-03	8.43E-03	1.07E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.26E-01	1.73E-01	2.18E-01	3.08E-01	3.98E-01
ADP-fossil	MJ	1.70E+02	2.21E+02	2.97E+02	4.23E+02	5.50E+02
Finitura minerale		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.18E+01	1.48E+01	1.92E+01	2.67E+01	3.41E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.83E-05	5.83E-05	5.84E-05	5.85E-05	5.86E-05
AP	kg SO ₂ eq.	5.24E-02	6.21E-02	7.67E-02	1.01E-01	1.25E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.90E-03	4.49E-03	5.38E-03	6.85E-03	8.33E-03
POCP	kg Ethene eq.	4.24E-03	5.16E-03	6.55E-03	8.87E-03	1.12E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.31E-01	1.72E-01	2.17E-01	3.06E-01	3.97E-01
ADP-fossil	MJ	1.75E+02	2.25E+02	3.01E+02	4.28E+02	5.54E+02
Finitura siliconica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.15E+01	1.45E+01	1.89E+01	2.64E+01	3.38E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.76E-05	5.77E-05	5.77E-05	5.78E-05	5.79E-05
AP	kg SO ₂ eq.	4.87E-02	5.83E-02	7.29E-02	9.71E-02	1.21E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.54E-03	4.13E-03	5.01E-03	6.49E-03	7.96E-03
POCP	kg Ethene eq.	3.79E-03	4.71E-03	6.10E-03	8.42E-03	1.07E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.24E-01	1.72E-01	2.18E-01	3.07E-01	3.97E-01
ADP-fossil	MJ	1.71E+02	2.21E+02	2.97E+02	4.24E+02	5.50E+02
Finitura ai silicati di silicone		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.16E+01	1.45E+01	1.90E+01	2.65E+01	3.39E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	6.13E-05	6.13E-05	6.13E-05	6.14E-05	6.15E-05
AP	kg SO ₂ eq.	4.53E-02	5.50E-02	6.96E-02	9.38E-02	1.18E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.31E-03	3.90E-03	4.79E-03	6.26E-03	7.74E-03
POCP	kg Ethene eq.	3.45E-03	4.38E-03	5.77E-03	8.08E-03	1.04E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	3.80E-01	3.29E-01	3.75E-01	4.64E-01	5.54E-01
ADP-fossil	MJ	1.73E+02	2.23E+02	2.99E+02	4.26E+02	5.52E+02
Finitura acrilica		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.37E+01	3.13E+01	4.28E+01	6.20E+01	8.12E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.55E-05	5.56E-05	5.57E-05	5.59E-05	5.60E-05
AP	kg SO ₂ eq.	9.96E-02	1.31E-01	1.79E-01	2.59E-01	3.38E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.63E-03	5.77E-03	7.48E-03	1.03E-02	1.32E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.51E-02	2.08E-02	2.92E-02	4.32E-02	5.73E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	3.70E-01	2.81E-01	2.74E-01	2.77E-01	2.81E-01
ADP-fossil	MJ	2.39E+02	3.25E+02	4.52E+02	6.65E+02	8.78E+02
Finitura ai silicati		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.32E+01	3.08E+01	4.24E+01	6.15E+01	8.07E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.83E-05	5.84E-05	5.85E-05	5.87E-05	5.88E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.04E-01	1.36E-01	1.84E-01	2.64E-01	3.43E-01

EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.93E-03	6.06E-03	7.77E-03	1.06E-02	1.35E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.55E-02	2.12E-02	2.96E-02	4.36E-02	5.77E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.39E-01	5.21E-02	4.55E-02	4.83E-02	5.19E-02
ADP-fossil	MJ	2.35E+02	3.20E+02	4.48E+02	6.61E+02	8.74E+02
Finitura minerale		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.35E+01	3.12E+01	4.27E+01	6.19E+01	8.10E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.84E-05	5.85E-05	5.86E-05	5.88E-05	5.89E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.08E-01	1.40E-01	1.87E-01	2.67E-01	3.47E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	5.28E-03	6.42E-03	8.13E-03	1.10E-02	1.38E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.60E-02	2.16E-02	3.00E-02	4.41E-02	5.81E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.44E-01	5.14E-02	4.42E-02	4.69E-02	5.05E-02
ADP-fossil	MJ	2.38E+02	3.23E+02	4.51E+02	6.64E+02	8.77E+02
Finitura siliconica		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.32E+01	3.09E+01	4.24E+01	6.16E+01	8.07E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.77E-05	5.78E-05	5.79E-05	5.81E-05	5.83E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.04E-01	1.36E-01	1.84E-01	2.63E-01	3.43E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.91E-03	6.05E-03	7.76E-03	1.06E-02	1.35E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.55E-02	2.11E-02	2.96E-02	4.36E-02	5.77E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.37E-01	5.11E-02	4.46E-02	4.75E-02	5.11E-02
ADP-fossil	MJ	2.35E+02	3.21E+02	4.48E+02	6.61E+02	8.74E+02
Finitura ai silicati di silicone		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.33E+01	3.10E+01	4.25E+01	6.16E+01	8.08E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	6.14E-05	6.14E-05	6.15E-05	6.17E-05	6.19E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.01E-01	1.33E-01	1.80E-01	2.60E-01	3.39E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.69E-03	5.83E-03	7.54E-03	1.04E-02	1.32E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.52E-02	2.08E-02	2.92E-02	4.33E-02	5.74E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.94E-01	2.08E-01	2.02E-01	2.05E-01	2.08E-01
ADP-fossil	MJ	2.37E+02	3.22E+02	4.50E+02	6.63E+02	8.76E+02
Finitura acrilica		XPS 10 cm	XPS 12 cm	XPS 15 cm	XPS 20 cm	
GWP	kg CO ₂ eq.	1.64E+01	2.12E+01	2.84E+01	4.03E+01	
ODP	kg CFC-11 eq.	5.59E-05	5.60E-05	5.61E-05	5.64E-05	
AP	kg SO ₂ eq.	4.95E-02	6.14E-02	7.92E-02	1.09E-01	
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.06E-02	8.42E-02	1.19E-01	1.78E-01	
POCP	kg Ethene eq.	4.47E-03	5.82E-03	7.86E-03	1.12E-02	
ADP-minerals	kg Sb eq.	3.69E-01	2.79E-01	2.72E-01	2.73E-01	
ADP-fossil	MJ	4.07E+02	5.59E+02	7.87E+02	1.17E+03	
Finitura ai silicati		XPS 10 cm	XPS 12 cm	XPS 15 cm	XPS 20 cm	
GWP	kg CO ₂ eq.	1.60E+01	2.07E+01	2.79E+01	3.99E+01	
ODP	kg CFC-11 eq.	5.84E-05	5.85E-05	5.87E-05	5.89E-05	
AP	kg SO ₂ eq.	5.48E-02	6.67E-02	8.45E-02	1.14E-01	
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.09E-02	8.45E-02	1.20E-01	1.79E-01	
POCP	kg Ethene eq.	4.89E-03	6.24E-03	8.27E-03	1.17E-02	
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.38E-01	5.03E-02	4.29E-02	4.45E-02	
ADP-fossil	MJ	4.02E+02	5.54E+02	7.82E+02	1.16E+03	
Finitura minerale		XPS 10 cm	XPS 12 cm	XPS 15 cm	XPS 20 cm	
GWP	kg CO ₂ eq.	1.63E+01	2.11E+01	2.82E+01	4.02E+01	
ODP	kg CFC-11 eq.	5.85E-05	5.86E-05	5.87E-05	5.90E-05	
AP	kg SO ₂ eq.	5.79E-02	6.98E-02	8.76E-02	1.17E-01	
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.13E-02	8.48E-02	1.20E-01	1.79E-01	
POCP	kg Ethene eq.	5.31E-03	6.66E-03	8.69E-03	1.21E-02	
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.43E-01	4.96E-02	4.16E-02	4.31E-02	
ADP-fossil	MJ	4.05E+02	5.57E+02	7.85E+02	1.16E+03	
Finitura siliconica		XPS 10 cm	XPS 12 cm	XPS 15 cm	XPS 20 cm	
GWP	kg CO ₂ eq.	1.60E+01	2.08E+01	2.79E+01	3.99E+01	
ODP	kg CFC-11 eq.	5.78E-05	5.79E-05	5.81E-05	5.83E-05	

AP	kg SO ₂ eq.	5.42E-02	6.61E-02	8.39E-02	1.14E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.09E-02	8.44E-02	1.20E-01	1.79E-01
POCP	kg Ethene eq.	4.86E-03	6.22E-03	8.25E-03	1.16E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.36E-01	4.94E-02	4.21E-02	4.37E-02
ADP-fossil	MJ	4.02E+02	5.54E+02	7.82E+02	1.16E+03
Finitura ai silicati di silicone		XPS 10 cm	XPS 12 cm	XPS 15 cm	XPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.61E+01	2.08E+01	2.80E+01	4.00E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	6.14E-05	6.15E-05	6.17E-05	6.20E-05
AP	kg SO ₂ eq.	5.09E-02	6.28E-02	8.06E-02	1.10E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.07E-02	8.42E-02	1.20E-01	1.78E-01
POCP	kg Ethene eq.	4.53E-03	5.88E-03	7.91E-03	1.13E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.93E-01	2.06E-01	1.99E-01	2.01E-01
ADP-fossil	MJ	4.04E+02	5.56E+02	7.84E+02	1.16E+03
Finitura acrilica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.64E+01	3.50E+01	3.71E+01	4.79E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.21E-05	9.25E-05	9.26E-05	9.31E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.03E-01	1.37E-01	1.45E-01	1.87E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.22E-03	5.40E-03	5.69E-03	7.16E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.28E-02	1.64E-02	1.73E-02	2.19E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.38E-01	1.89E-01	2.01E-01	2.64E-01
ADP-fossil	MJ	2.45E+02	3.35E+02	3.57E+02	4.70E+02
Finitura ai silicati		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.72E+01	3.15E+01	3.79E+01	4.87E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.21E-05	9.23E-05	9.26E-05	9.31E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.07E-01	1.24E-01	1.50E-01	1.92E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.53E-03	5.11E-03	6.00E-03	7.47E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.33E-02	1.51E-02	1.79E-02	2.24E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.43E-01	1.68E-01	2.06E-01	2.69E-01
ADP-fossil	MJ	2.65E+02	3.10E+02	3.78E+02	4.90E+02
Finitura minerale		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.83E+01	3.26E+01	3.90E+01	4.98E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.28E-05	9.29E-05	9.32E-05	9.37E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.11E-01	1.28E-01	1.54E-01	1.96E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.69E-03	5.28E-03	6.16E-03	7.63E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.49E-02	1.68E-02	1.95E-02	2.40E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.50E-01	1.75E-01	2.13E-01	2.76E-01
ADP-fossil	MJ	2.60E+02	3.05E+02	3.73E+02	4.86E+02
Finitura siliconica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.83E+01	3.26E+01	3.90E+01	4.98E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.28E-05	9.29E-05	9.32E-05	9.37E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.11E-01	1.28E-01	1.54E-01	1.96E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.69E-03	5.28E-03	6.16E-03	7.63E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.49E-02	1.68E-02	1.95E-02	2.40E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.50E-01	1.75E-01	2.13E-01	2.76E-01
ADP-fossil	MJ	2.60E+02	3.05E+02	3.73E+02	4.86E+02
Finitura ai silicati di silicone		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.83E+01	3.26E+01	3.90E+01	4.98E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.28E-05	9.29E-05	9.32E-05	9.37E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.11E-01	1.28E-01	1.54E-01	1.96E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.69E-03	5.28E-03	6.16E-03	7.63E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.49E-02	1.68E-02	1.95E-02	2.40E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.50E-01	1.75E-01	2.13E-01	2.76E-01
ADP-fossil	MJ	2.60E+02	3.05E+02	3.73E+02	4.86E+02

San Marco

San Marco Group è leader in Italia nella produzione di pitture e vernici per l'edilizia professionale. Il Gruppo con sede principale a Marcon (VE) oggi conta 8 siti produttivi ed è proprietario di 7 diversi brand. L'headquarter del gruppo è situato a Marcon, Venezia, Italia. La salvaguardia dell'ambiente, il rispetto della natura e il benessere dei collaboratori, sono aspetti importanti della politica aziendale. Per questa ragione, Colorificio San Marco è impegnato nella continua ricerca di migliorare qualitativamente i propri prodotti e i propri cicli di produzione al fine di ridurre l'impatto ambientale complessivo. Nel 2010 Colorificio San Marco ha iniziato ad utilizzare la metodologia LCA, per comprendere le prestazioni ambientali dei propri prodotti e analizzarne i punti di forza e di debolezza. L'applicazione della LCA ha consentito a San Marco di conseguire per 3 prodotti e un processo la certificazione EPD. L'oggetto dell'EPD analizzata del gruppo San Marco è il sistema di isolamento termico a cappotto Marcotherm, nelle varianti EPS (con pannello isolante in polistirene espanso), EPS color (con pannello isolante in polistirene espanso additivato), Rock (con pannello isolante in lana di roccia) e PU (con pannello isolante in poliuretano). Il sistema Marcotherm è composto da diversi elementi, elencati con i corrispettivi consumi nella

Tabella 18. Colorificio San Marco produce le finiture e il primer. L'adesivo è prodotto dal fornitore Eurobeton a Latisana (UD). Gli isolanti e accessori vengono prodotti da produttori partner nei rispettivi stabilimenti.

Tabella 18: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Berger

ETICS	EPS	EPS color	MW	PU
Componenti	Peso [kg/m ²]			
Collante	8	8	10	10
Isolante	2.42	2.22	14.04	3.96
Rasante	Non usato	Non usato	Non usato	Non usato
Rete fibra vetro	0.16	0.16	0.16	0.16
Finitura	1.9	1.9	1.9	1.9
Primer	0.13	0.13	0.13	0.13
Tasselli	0.17	0.16	0.17	0.15

Gli spessori considerati per i materiali isolanti sono quelli con cui si ottengono i valori di trasmittanza di 0,20 W/m²K. Ciò comporta che in alcuni casi lo spessore del materiale isolante non è uno di quelli disponibili commercialmente. La trasmittanza di 0,20 W/m²K valuta anche il supporto in laterizio (25 cm doppio UNI). Per associare dunque le caratteristiche ambientali del sistema a cappotto in funzione dello spessore dell'isolante utilizzato, abbiamo proceduto a determinare il calcolo dello spessore di isolante in funzione:

- della resistenza termica del laterizio da 25cm doppio UNI pari a $1.02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- della resistenza termica del sistema a cappotto pari a $5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;

da cui si è calcolata come differenza la resistenza termica dell'isolante pari a $3.98 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Infine, considerando una conducibilità termica dell'EPS, EPS Color (additivato), lana di roccia e poliuretano rispettivamente pari a 0.034, 0.03, 0.036 e $0.0265 \text{ W/m}^2\text{K}$, si è potuto calcolare lo spessore dei vari pannelli isolanti riportato in

Tabella 19.

Tabella 19: Spessore calcolato dei pannelli isolanti del sistema ETICS San Marco

Isolante	Spessore [cm]
EPS	14
EPS Color	12
MW	14
PU	11

L'EPD analizzata è una dichiarazione "from cradle to gate with options" (PCR 2012:01 v2.3), pertanto i confini del sistema delle LCA di Marcotherm comprendono la produzione delle materie prime, dei semilavorati e dei componenti non realizzati internamente da Colorificio San Marco (A1), il trasporto di materie prime e semilavorati a San Marco (A2), la fase di produzione San Marco (A3) e la fase di fine vita (C2-C4)). Per una maggiore completezza, nel modello LCA sono stati inseriti anche gli imballi dei prodotti San Marco e Eurobeton. Il fine vita degli imballi dei prodotti Colorificio San Marco ed Eurobeton non è stato considerato, poiché facente parte della fase d'applicazione (A5) non inclusa nei confini di sistema. Sono state escluse la distribuzione (A4), la messa in opera del cappotto termico (A5), la fase d'uso (B1-B7) e la demolizione (C1) poiché fortemente caratterizzate dalle condizioni in cui il sistema viene utilizzato. Il muro in laterizio, su cui il cappotto viene applicato, non è incluso nei confini del sistema studiato. Nello specifico, i processi a monte della produzione Colorificio San Marco (Upstream, A1) comprendono, per i componenti San Marco: le materie prime utilizzate nei prodotti San Marco e nei relativi imballi, il trasporto delle stesse ai fornitori, la produzione degli imballi; mentre i componenti del cappotto non prodotti da San Marco includono: i consumi di stabilimento di Eurobeton, le materie prime, il loro trasporto e la produzione. All'interno dello stabilimento vengono eseguiti i seguenti processi (Core, A2 e A3): il trasporto a San Marco e, la produzione (mediante l'uso di un dispersore meccanico per i prodotti liquidi), gli spostamenti interni con mezzi elettrici, le operazioni di lavaggio, il confezionamento con imballi primari, la palletizzazione, lo stoccaggio del prodotto, la produzione di scarti e il loro smaltimento. Il trasporto dei materiali dai fornitori a Colorificio San Marco, i consumi di energia e acqua, le emissioni e il trattamento dei rifiuti sono inclusi nel processo produttivo. I processi a valle del processo produttivo (Downstream, C2-C4) includono: il fine vita di tutti i componenti del sistema Marcotherm.

L'unità dichiarata per l'analisi LCA presa in esame è 1 m^2 di sistema d'isolamento termico esterno a cappotto. I sistemi Marcotherm EPS e EPS Color vengono presentati nelle varianti realizzate con adesivo bianco o con adesivo grigio. I processi più significativi provenienti dal database ecoinvent sono stati modificati per renderli più rappresentativi della situazione italiana, modificandone il mix energetico.

I risultati delle caratteristiche ambientali dei sistemi presi in esame sono riportati in

Tabella 20.

Tabella 20: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dello studio San Marco

ETICS		EPS con adesivo grigio	EPS con adesivo bianco	EPS color con adesivo grigio	EPS color con adesivo bianco	MW	PU
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	1.66E+01	1.66E+01	1.47E+01	1.48E+01	2.69E+01	2.31E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	7.43E-07	7.43E-07	7.10E-07	7.11E-07	1.81E-06	7.30E-07
AP	kg SO ₂ eq.	5.80E-02	5.78E-02	5.00E-02	4.98E-02	1.66E-01	9.14E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	1.13E-02	1.13E-02	1.06E-02	1.06E-02	4.78E-02	1.92E-02
POCP	kg Ethene eq.	1.89E-02	1.89E-02	5.02E-03	5.02E-03	1.11E-02	1.01E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	2.30E-05	1.40E-05	2.70E-05	1.80E-05	6.00E-05	4.10E-05
ADP-fossil	MJ	3.14E+02	3.14E+02	2.73E+02	2.73E+02	3.26E+02	4.17E+02

Settef

Settef è diventato uno dei principali player nel mondo dei prodotti per l'edilizia professionale, proponendo una vasta gamma di soluzioni nell'ambito di:

- Sistema di isolamento a cappotto
- Soluzioni per la facciata
- Finiture per interni
- Prodotti alla calce biosostenibili per la conservazione, la valorizzazione e la protezione di edifici storici, monumentali e nuovi, a marchio Cepro

Oggi Settef fa parte del gruppo Cromology Italia, società del Gruppo Cromology, quarto più grande produttore in Europa per le vernici per edilizia e architettura. Nell'ambito della responsabilità ambientale, nel 2021 Settef ha prodotto una EPD che fornisce le caratteristiche ambientali di un'ampia gamma di sistemi a cappotto THERMOPHON, nelle varianti P (con pannello isolante in polistirene espanso e collante in pasta), PV (con pannello isolante in polistirene espanso e collante in polvere), MINERAL (con pannello isolante in lana di roccia) e NATURAL (con pannello isolante in sughero). I componenti dei sistemi ETICS analizzati con i relativi quantitativi espressi in kg/m² sono riportati in

Tabella 21.

Tabella 21: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Settef

ETICS	Thermophon P 10 cm	Thermophon PV 10 cm	Mineral 10 cm	Natural 10 cm
Componenti	Peso [kg/m ²]			
Collante	4.25	4.25	4.25	4.25
Isolante	1.65	1.65	7.80	11.00
Rasante	4.50	4.50	4.50	4.50
Rete fibra vetro	0.16	0.16	0.16	0.16
Finitura	2.75	2.75	2.75	2.75
Primer	0.16	0.16	0.16	0.16
Tasselli	0.26	0.26	0.26	0.26

Questa EPD è del tipo “cradle to gate with options” e include i moduli A1 (Materie prime), A2 (Trasporto), A3 (Produzione), C1 (Demolizione Totale/Parziale), C2 (Trasporto scarica/Centro per il recupero), C3 (Processo Recupero/Riutilizzo), C4 (Discarica) e D (Potenziale di recupero/Riutilizzo). Le caratteristiche ambientali riferite ai moduli A1-A3 sono riportate in Tabella 23. Nel dettaglio, i dati sono riferiti all’anno solare 2019 e lo studio LCA è stato effettuato nell’anno 2020/2021. Inoltre, i prodotti sono stati divisi in sottogruppi uniformi per quanto riguarda l’adesivo, il primer e la finitura utilizzata:

Collanti e Rasanti

- BONDING 11: Adesivo in pasta per coibentazione a cappotto e rasante universale di colore grigio.
- BONDING 05: Adesivo in polvere per coibentazione a cappotto e rasante universale con granulometria 0,5 mm.
- BONDING GG: Adesivo in polvere grigio per coibentazione a cappotto e rasante universale con granulometria 0,7 mm.
- BONDING G1 F: Adesivo in polvere grigio per coibentazione a cappotto e rasante universale con granulometria 1 mm.

Fondi

- FONDFIX PLUS: Fondo universale pigmentato a effetto riempitivo.
- SILISETTEF GRIP: Fondo minerale, riempitivo e uniformante a base di silicato di potassio in fase acquosa

Finiture

- TAORMINA FINE 1,2 mm: Rivestimento acrilico protettivo ad aspetto rasato compatto fine.
- CORTINA CAP MEDIO 1,5 mm: Rivestimento acrilico protettivo ad aspetto rasato rustico medio.
- SILISETTEF MEDIO 1,5 mm: Rivestimento fibrorinforzato ai silicati ad aspetto rasato rustico compatto.
- SYLANCOAT: Rivestimento acrisilossanico ad aspetto compatto.

I sistemi analizzati, in funzione del loro sottogruppo sono riportati in

Tabella 22.

Tabella 22: Classificazione sottogruppi dei sistemi ETICS relativi allo studio Settef

ETICS	Adesivo/Rasante	Primer	Finitura
Thermophon P	Bonding 11	Fondfix Plus	Cortina Cap Medio
	Bonding 11	Fondfix Plus	Taormina Fine
	Bonding 11	Fondfix Plus	Silacryl R
Thermophon PV1	Bonding Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
	Bonding 05 Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
	Bonding GG Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
	Bonding G1 Grigio F	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
Thermophon PV2	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding 05 Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding GG Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding G1 Grigio F	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
Thermophon PV3	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1,2
	Bonding 05 Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1,2

	Bonding GG Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1,2
	Bonding G1 Grigio F	Fondfix Plus	Sylancoat 1,2
Thermophon PV4	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Cortina Cap Medio
	Bonding 05 Grigio	Fondfix Plus	Cortina Cap Medio
	Bonding GG Grigio	Fondfix Plus	Cortina Cap Medio
	Bonding G1 Grigio F	Fondfix Plus	Cortina Cap Medio
	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Taormina Fine
Thermophon PV5	Bonding 05 Grigio	Fondfix Plus	Taormina Fine
	Bonding GG Grigio	Fondfix Plus	Taormina Fine
	Bonding G1 Grigio F	Fondfix Plus	Taormina Fine
	Bonding Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
Mineral 1	Bonding 05 Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
	Bonding GG Grigio	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
	Bonding G1 Grigio F	Silisetef Grip	Silisetef Medio 1,5
Mineral 2	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding 05 Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding GG Grigio	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
	Bonding G1 Grigio F	Fondfix Plus	Sylancoat 1.5
Natural 1	Bonding Grigio	Fondfix Plus	Silacryl G
	Bonding Grigio	Silisetef Grip	Silisetef OT medio

Tabella 23: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dello studio Settef

ETICS		Thermo phon P	Thermo phon PV1	Thermo phon PV2	Thermo phon PV3	Thermo phon PV4	Thermo phon PV5	Mine ral 1	Mine ral 2	Natur al 1	Natur al 2
Indica tore	Unit à	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1- A3	A1- A3	A1- A3	A1- A3
GWP	kg CO ₂ eq.	2.51E+0 1	2.34E+0 1	2.34E+0 1	2.24E+0 1	2.39E+0 1	2.25E+0 1	2.78E +01	2.78E +01	2.86E +01	2.82E +01
ODP	kg CFC- 11 eq.	1.88E- 06	4.31E- 05	1.78E- 06	1.61E- 06	1.97E- 06	1.80E- 06	4.35E -05	2.17E -06	2.50E -06	3.11E -06
AP	mol H+ eq.	8.99E- 02	7.80E- 02	7.87E- 02	7.48E- 02	8.01E- 02	7.60E- 02	1.48E -01	1.49E -01	1.25E -01	1.22E -01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	3.18E- 03	3.55E- 03	3.67E- 03	3.42E- 03	3.56E- 03	3.45E- 03	6.67E -03	6.68E -03	9.38E -03	9.28E -03
POCP	kg NMV OC eq.	7.22E- 02	6.23E- 02	6.25E- 02	5.98E- 02	6.31E- 02	6.05E- 02	9.08E -02	9.10E -02	9.48E -02	9.38E -02
ADP- miner als	kg Sb eq.	2.65E- 06	1.22E- 06	1.13E- 06	1.10E- 06	1.25E- 06	1.11E- 06	1.46E -06	1.37E -06	1.83E -06	1.80E -06
ADP- fossil	MJ	3.91E+0 2	3.12E+0 2	3.04E+0 2	2.93E+0 2	3.22E+0 2	2.96E+0 2	3.02E +02	2.95E +02	3.62E +02	3.55E +02

Paper 1

Lo studio denominato paper 1 fa riferimento alla pubblicazione scientifica: Michałowski, B. and Michalak, J., 2021. *Sustainability-oriented assessment of external thermal insulation composite systems: A case study from Poland*. Cogent Engineering, 8(1). Il documento presenta l'impatto della produzione di tutti i componenti ETICS sull'ambiente naturale utilizzando il metodo di valutazione del ciclo di vita. I dati utilizzati nei calcoli, relativi alla produzione reale del 2017, sono stati ottenuti dall'inventario verificato esternamente da cinque stabilimenti di produzione situati in diverse regioni della Polonia (Bydgoszcz, Dąbrowa Górnicza, Piotrków Trybunalski, Suwałki e Zgierz). I risultati ottenuti fanno riferimento ad un sistema a cappotto composto da pannelli di polistirene espanso, analizzato per tre diversi spessori (10, 15 e 20 cm), con un intonaco minerale come strato di finitura. La Tabella 24 specifica tutti i componenti dell'ETICS esaminato.

Tabella 24: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Paper 1

ETICS Componenti	EPS 10-15-20 cm
	Peso [kg/m ²]
Collante	4.50
Isolante	1.35
Rasante	5.50
Rete fibra vetro	0.15
Finitura	2.00-4.50
Primer	0.2
Tasselli	Non definito

Nello studio Paper 1 sono state pubblicate le caratteristiche ambientali di 1 m² di isolamento ottenute mediante l'analisi del ciclo vita coprendo i moduli da A1 a A3 (Cradle-to-Gate) secondo la norma EN 15804. Ciò include l'estrazione delle materie prime, la lavorazione del materiale secondario, il trasporto al produttore e la produzione fino al prodotto finito e confezionato al cancello della fabbrica. I risultati sono stati raccolti nella

Tabella 25.

Tabella 25: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS con EPS dello studio Paper 1

Finitura minerale		EPS 10 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	8.70E+00	1.10E+01	1.34E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.01E-05	5.01E-05	5.02E-05
AP	kg SO ₂ eq.	2.57E-02	3.10E-02	3.63E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.63E-03	5.11E-03	5.60E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.41E-03	3.07E-03	3.73E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03
ADP-fossil	MJ	1.55E+02	2.23E+02	2.90E+02

Paper 2

Lo studio denominato paper 2 fa riferimento alla pubblicazione scientifica: Michalak, J., Czernik, S., Marcinek, M. and Michałowski, B., 2020. *Environmental burdens of External Thermal Insulation Systems. Expanded Polystyrene vs. Mineral Wool: Case Study from Poland*. Sustainability, 12(11), p.4532. Questa pubblicazione ha analizzato i risultati ottenuti per ETICS contenenti pannelli di polistirene espanso (EPS) o lana minerale

(MW) di cinque diversi spessori: 10, 12, 15, 20 e 25 cm con un intonaco minerale come strato di finitura. I dati utilizzati nei calcoli si riferiscono al 2017 (EPD rilasciate a marzo 2019) per cinque stabilimenti produttivi dislocati nelle diverse regioni della Polonia: Bydgoszcz, Dabrowa Górnicza, Piotrków Trybunalski, Suwałki e Zgierz. In

Tabella 26 sono riportati i componenti dei due sistemi di isolamento a cappotto con i relativi consumi espressi in kg/m^2 .

Tabella 26: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Paper 2

ETICS	EPS		MW	
	10-12-15-20-25 cm		10-12-15-20-25 cm	
Componenti	Peso [kg/m^2]		Peso [kg/m^2]	
Collante	4.50		4.50-5.50	
Isolante	1.35		3.50-4.50	
Rasante	5.50		5.50-6.50	
Rete fibra vetro	0.15		0.15	
Finitura	2.00-4.50		2.00-4.50	
Primer	0.20		0.30	
Tasselli	Non definito		Non definito	

Il ciclo di vita oggetto dell'analisi ha riguardato i moduli da A1 ad A3 (vale a dire, dall'estrazione della materia prima al prodotto finito consegnato al cancello della fabbrica), dove A1 è l'estrazione, e la lavorazione delle materie prime, la lavorazione del materiale secondario, compresi i processi di riciclaggio, A2 è il trasporto al produttore e A3 è la produzione. Nello studio sono stati analizzati i valori totali dei moduli A1, A2 e A3 per ciascun ETICS. La valutazione ambientale si riferisce all'unità di prodotto, ossia 1 m^2 di isolamento realizzato. Nella

Tabella 27 sono riportati i valori di ciascun impatto ambientale preso in esame.

Tabella 27: Caratteristiche ambientali dei sistemi ETICS dello studio Paper 2

ETICS		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm	EPS 25 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	8.70E+00	9.64E+00	1.10E+01	1.34E+01	1.57E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.01E-05	5.01E-05	5.01E-05	5.02E-05	5.02E-05
AP	kg SO ₂ eq.	2.57E-02	2.78E-02	3.10E-02	3.63E-02	4.16E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.63E-03	4.82E-03	5.11E-03	5.60E-03	6.09E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.41E-03	2.68E-03	3.07E-03	3.73E-03	4.38E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03
ADP-fossil	MJ	1.55E+02	1.82E+02	2.23E+02	2.90E+02	3.57E+02
ETICS		MW 10 cm	MW 12 cm	MW 15 cm	MW 20 cm	MW 25 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	2.65E+01	3.51E+01	3.72E+01	4.79E+01	5.87E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	9.21E-05	9.25E-05	9.26E-05	9.31E-05	9.35E-05
AP	kg SO ₂ eq.	1.03E-01	1.36E-01	1.45E-01	1.87E-01	2.29E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.22E-03	5.40E-03	5.69E-03	7.16E-03	8.63E-03
POCP	kg Ethene eq.	1.28E-02	1.64E-02	1.73E-02	2.19E-02	2.64E-02
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.38E-01	1.89E-01	2.01E-01	2.64E-01	3.27E-01
ADP-fossil	MJ	2.45E+02	3.35E+02	3.58E+02	4.70E+02	5.83E+02

Per un maggiore dettaglio, in

Tabella 28 sono riportati gli impatti in percentuale dovuti ai singoli componenti di ciascun sistema ETICS, considerando uno spessore di isolante (EPS e MW) pari a 10 cm,

Tabella 28: Caratteristiche ambientali (%) del sistema ETICS con EPS e MW dello studio Paper 2

Paper 2 EPS							
Componenti	GWP [%]	ODP [%]	AP [%]	EP [%]	POCP [%]	ADP-Mineral [%]	ADP-Fossil [%]
Collante	14.2	44.0	14.8	16.3	12.0	14.4	1.7
Isolante	51.4	0.0	38.6	18.6	51.5	0.0	84.8
Rasante	14.5	55.0	15.7	15.9	13.2	19.0	2.3
Rete fibravetro	0.9	0.0	2.0	2.3	2.8	0.0	0.8
Primers	3.4	0.0	3.8	5.9	3.0	26.3	0.2
Finitura	16.0	1.2	25.0	41.0	17.8	40.7	10.5
Tasselli	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito
Paper 2 MW							
Collante	5.0	26.0	4.0	20.0	2.3	10.4	1.0
Isolante	82.8	41.2	83.3	8.2	90.5	84.2	90.0
Rasante	5.5	32.3	4.8	19.5	3.0	1.5	1.7
Rete fibravetro	0.2	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.2
Primers	1.0	0.0	0.8	6.8	0.7	1.7	0.2
Finitura	5.5	0.8	6.9	46.0	3.5	2.6	6.9
Tasselli	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito	Non definito

Paper 3

Lo studio denominato paper 3 si riferisce alla pubblicazione scientifica: Michałowski, B., Marcinek, M., Tomaszewska, J., Czernik, S., Piasecki, M., Geryło, R. and Michalak, J., 2020. *Influence of Rendering Type on the Environmental Characteristics of Expanded Polystyrene-Based External Thermal Insulation Composite System*. Buildings, 10(3), p.47. Questo studio si concentra su una valutazione del ciclo di vita (LCA) di un sistema ETICS basato su EPS comunemente utilizzato con quattro diversi rendering (minerale, acrilico, siliconico e silicati di silicone), prodotto in Polonia. Nel dettaglio, gli autori hanno confrontato l'impatto ambientale assegnato a 1 m² del sistema prodotto tenendo conto dello spessore dell'EPS (10, 15 e 20 cm) e all'interno di diverse categorie di impatto ambientale. L'analisi si basa sui dati specifici del prodotto esaminato, riferiti all'anno 2017. I dati per i processi provengono dai seguenti database: Ecoinvent, Polish Cement data, ITB-data, Plastic-Europe e EPD specifiche. I componenti del sistema ETICS, con i relativi consumi espressi in kg/m², come descritti nel Benestare Tecnico Nazionale ITB AT-15-9090/2016, sono riportati in

Tabella 29.

Tabella 29: Componenti e materiali dei sistemi ETICS relativi allo studio Paper 2

ETICS	EPS 10-15-20
Componenti	Peso [kg/m ²]
Collante	4.50
Isolante	1.35
Rasante	5.50
Rete fibra vetro	0.15
Finitura	2.00-4.50
Primer	0.20
Tasselli	Non definito

L'analisi di impatto ambientale si è concentrata sulla fase A1-estrazione delle materie prime, attraverso la fase A2 - il trasporto in fabbrica, e lo stoccaggio dei materiali utilizzati per produrre i componenti del sistema ETICS, fino alla fase A3, in cui sono stati inclusi l'approvvigionamento energetico e il processo di produzione. I valori per ciascuna categoria di impatto ambientale presa in considerazione sono riportati in

Tabella 30.

Tabella 30: Caratteristiche ambientali del sistema ETICS con EPS e MW dello studio Paper 3

Finitura minerale		EPS 10 cm	EPS 15 cm	EPS 20 cm
Indicatore	Unità	A1-A3	A1-A3	A1-A3
GWP	kg CO ₂ eq.	8.70E+00	1.09E+01	1.36E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.01E-05	5.01E-05	5.01E-05
AP	kg SO ₂ eq.	2.57E-02	3.08E-02	3.70E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4.62E-03	5.08E-03	5.59E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.41E-03	3.01E-03	3.77E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.55E+02	1.55E+02	1.55E+02
ADP-fossil	MJ	9.90E-03	1.39E-02	1.94E-02
Finitura acrilica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.00E+01	1.25E+01	1.56E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.16E-05	5.16E-05	5.16E-05
AP	kg SO ₂ eq.	3.16E-02	3.79E-02	4.55E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.28E-03	6.91E-03	7.60E-03
POCP	kg Ethene eq.	3.09E-03	3.86E-03	4.83E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02
ADP-fossil	MJ	1.85E+02	2.59E+02	3.63E+02
Finitura siliconica		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	9.40E+00	1.18E+01	1.47E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.01E-05	5.01E-05	5.01E-05

AP	kg SO ₂ eq.	3.04E-02	3.65E-02	4.38E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	5.18E-03	5.70E-03	6.27E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.71E-03	3.39E-03	4.23E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.75E+02	1.75E+02	1.75E+02
ADP-fossil	MJ	1.47E+02	2.06E+02	2.88E+02
Finitura ai silicati di silicone		EPS 10 cm	EPS 12 cm	EPS 15 cm
GWP	kg CO ₂ eq.	1.05E+01	1.31E+01	1.64E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5.08E-05	5.08E-05	5.08E-05
AP	kg SO ₂ eq.	3.44E-02	4.13E-02	4.95E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	6.81E-03	7.49E-03	8.24E-03
POCP	kg Ethene eq.	2.88E-03	3.60E-03	4.50E-03
ADP-minerals	kg Sb eq.	1.75E+02	1.75E+02	1.75E+02
ADP-fossil	MJ	2.16E+02	3.02E+02	4.23E+02

Gli autori specificano che l'aggiunta di ogni 5 cm di materiale termoisolante al sistema modifica il valore delle categorie di impatto ambientale in media: del 40% nell'indicatore ADP-Fossil, del 25% in GWP e POCP, del 20% per AP e del 10% per EP. Non sono state osservate differenze concomitanti negli indicatori ODP e ADP.

Inoltre, si riportano in

Tabella 31 i contributi in percentuale, per ciascuna categoria di impatto, relativi ai singoli componenti del sistema ETICS analizzato.

Tabella 31: Caratteristiche ambientali (%) del sistema ETICS con EPS dello studio Paper 3

Paper 3 EPS							
Componenti	GWP [%]	ODP [%]	AP [%]	EP [%]	POCP [%]	ADP-Mineral [%]	ADP-Fossil [%]
Collante	13.4	42.4	14.3	11.7	15.5	12.8	1.3
Isolante	50.5	0.0	35.3	48.0	17.4	0.0	81.3
Rasante	13.7	52.1	15.0	12.6	14.8	16.4	1.7
Rete fibrovetro	0.9	0.0	2.0	2.6	2.4	0.0	0.8
Primers	15.2	1.1	23.8	17.1	38.9	34.0	10.0
Finitura	1.7	2.0	2.3	2.6	1.8	3.2	1.7
Tasselli	17.4	1.5	27.5	19.6	43.0	45.8	12.6

2.2. Fase di costruzione: Modulo A4 – A5

In linea con quanto previsto per questa linea di attività, l'analisi ha riguardato anche la valutazione dei costi associati agli impatti ambientali legati alle fasi della supply chain identificate dalla fase di trasporto e installazione del sistema ETICS. Diversamente dalla fase di produzione (par. 2.1), gli impatti ambientali sono stati calcolati in maniera analitica tramite l'utilizzo del software SimaPRO.

La fase di trasporto viene identificata nel trasporto dall'unità di produzione al sito di installazione. Per questa fase, si è scelto di identificare come possibili mezzi di trasporto i più utilizzati, ossia autocarro, treno e nave. Mediante il software SimaPRO, si è calcolato l'impatto ambientale associato a tale fase relativo ad 1 km percorso, per tonnellata di materiale isolante trasportato, mediante rispettivamente autocarro, treno e nave. A tale riguardo si è fatto riferimento rispettivamente ai seguenti processi della banca dati Ecoinvent 3.7:

- transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} | market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | APOS, U;
- transport, freight, sea, container ship {GLO} | market for transport, freight, sea, container ship | APOS, U;
- transport, freight train {Europe without Switzerland} | market for | APOS, U

I relativi impatti associati per ciascuna delle categorie selezionate sono riportati in Tabella 32.

Si vuole specificare che, gli impatti ambientali associati alla fase di trasporto (benchmark di riferimento) sono stati determinati utilizzando il peso del materiale isolante espresso in tonnellate e la distanza, espressa in km, che intercorre tra il sito di produzione e il sito di installazione, come specificato nel paragrafo 3.2.

Per quanto riguarda la fase di installazione è stato determinato l'impatto ambientale associato al consumo di 1 l di acqua e 1kWh di energia elettrica mediante il software SimaPRO. A tale riguardo si è fatto riferimento rispettivamente ai seguenti processi della banca dati Ecoinvent 3.7:

- Tap water {Europe without Switzerland} | market for | APOS, U
- Electricity, low voltage {IT} | market for | APOS, U

Tabella 32: Impatti ambientali associati alle tre forme di trasporto

Trasporto	Autocarro	Treno	Nave
GWP (kgCO ₂ eq/tkm)	0.165	0.045	0.00928
ODP (kgCFC-11eq/tkm)	3.00E-08	4.66E-09	1.49E-09
AP (kg SO ₂ eq/tkm)	0.000515	0.000282	0.000244
EP (kgPO ₄₃ -/tkm)	1.18E-04	1.06E-04	2.71E-05
POCP (kgC ₂ H ₄ eq/tkm)	2.07E-05	9.52E-06	6.21E-06
ADPE (kgSbeq/tkm)	5.47E-07	2.22E-07	1.26E-08
ADPF (MJeq/tkm)	2.45	5.42E-01	0.119

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 33. Come descritto nel paragrafo 3.2, questi valori di impatto sono stati utilizzati per determinare il benchmark di riferimento associato alla fase di installazione. In particolare, sono stati moltiplicati per il consumo medio di acqua ed energia elettrica ottenuto dall'analisi degli studi raccolti.

Tabella 33: Impatti ambientali associati al consumo di 1l di acqua e 1kWh di energia elettrica

Produzione	1l Acqua	1kWh Energia elettrica
GWP (kgCO ₂ eq)	0.000338	0.422346
ODP (kgCFC-11eq)	2.33E-11	5.7E-08
AP (kg SO ₂ eq)	1.61E-06	0.001652
EP (kgPO ₄₃ -)	9.23E-07	0.000529
POCP (kgC ₂ H ₄ eq)	9.28E-08	7.51E-05
ADPE (kgSbeq)	1.77E-09	3.94E-06
ADPF (MJeq)	0.003766	5.578843

2.3. Fase di fine vita: Modulo C4

Come previsto per questa linea di attività, all'interno delle analisi effettuate è stata esaminata anche la potenzialità di recupero, riciclo e reimpiego dei materiali componenti i sistemi di isolamento a cappotto al fine di perseguire obiettivi di circular economy. Tale recupero è associato alla relativa fase di rimozione del sistema a cappotto termico. Tale rimozione viene intesa come la completa rimozione del sistema di isolamento dal supporto murario e rappresenta oggi una pratica comune nel caso di ETICS con isolante in EPS. Ideale è il cosiddetto approccio selettivo, che non mescola i singoli componenti del sistema, come il materiale isolante o l'intonaco di finitura. L'altra opzione consiste nel raschiare o fresare l'intera facciata ETICS dell'edificio. Tuttavia, in questo caso, la frazione minerale e quelle organiche devono essere successivamente separate in un impianto di separazione di rifiuti misti da costruzione.

A tale scopo, è stata esaminata la fase di fine vita del prodotto. Nel dettaglio, il modulo C4 si riferisce alle emissioni prodotte dallo smaltimento del materiale isolante. Lo scenario assunto per la fase di smaltimento è quello del conferimento in discarica del prodotto. Tale contributo si è determinato attraverso l'uso del software SimaPRO. Attraverso il database Ecoinvent 3.7.1 interno al software si è proceduto al calcolo dell'impatto ambientale dovuto allo smaltimento in discarica dei vari materiali isolanti presi in considerazione. Senza perdere di generalità, in

Tabella 34 vengono riportati come esempio i valori degli impatti ambientali dovuti allo smaltimento in discarica rispettivamente di 1 kg di EPS (1 kg Waste polystyrene {RoW}| treatment of waste polystyrene, sanitary landfill | APOS, U) e 1 kg di lana minerale (1 kg Waste mineral wool, for final disposal {Europe without Switzerland}| treatment of waste mineral wool, inert material landfill | APOS, U).

Come descritto nel paragrafo 3.3, questi valori di impatto sono stati utilizzati per determinare il benchmark di riferimento associato alla fase di fine vita.

Tabella 34: Impatti ambientali associati allo smaltimento in discarica di 1kg di EPS e 1kg di MW.

Smaltimento	1 kg EPS	1 kg MW
GWP (kgCO2eq)	0.133074	0.005152
ODP (kgCFC-11eq)	2.58E-09	1.71E-09
AP (kg SO2eq)	0.000175	4.4E-05
EP (kgPO43-)	0.005607	8.05E-06
POCP (kgC2H4eq)	2.28E-05	1.53E-06
ADPE (kgSbeq)	3.53E-08	1.15E-08
ADPF (MJeq)	0.244325	0.145154

3. Determinazione benchmark di riferimento

Come descritto precedentemente nel paragrafo 2, si è messa a punto una metodologia per la determinazione e stima degli impatti ambientali definendo un benchmark di riferimento. L'obiettivo è stato quello di determinare il valore degli impatti ambientali di riferimento (benchmark) associato a ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto. Come menzionato precedentemente, lo scopo di definire un benchmark è quello di:

- Dare la possibilità ai produttori/distributori di utilizzare i benchmark calcolati in questo progetto per analizzare le varie fasi in cui sono coinvolte le loro attività, confrontando i loro costi (diretti e non) con dei valori di riferimento.
- Dare la possibilità alle amministrazioni e ai policy makers di utilizzare i valori di riferimento come criteri di valutazione all'interno di procedure amministrative quali bandi, finanziamenti, incentivi, etc.

3.1. Fase di produzione

Uno degli obiettivi di questa attività è quello di estrapolare, dai dati degli studi raccolti relativi ai vari sistemi ETICS, l'andamento di ciascuna categoria di impatto ambientale al variare del tipo di isolante utilizzato e dello spessore associato a tale materiale. A tale scopo, i dati dei vari studi LCA sono stati riportati su un foglio di calcolo per ottenere dei grafici che permettessero di mettere in relazione il valore di ciascuna categoria di impatto con lo spessore del materiale di isolante al fine di ottenere il benchmark di riferimento. Da un'attenta analisi dei dati raccolti per ciascuno studio, si è evidenziato come i sistemi ETICS maggiormente utilizzati sono quelli corrispondenti all'utilizzo del materiale isolante in polistirene (EPS) e lana minerale (MW). Questo è in linea con quanto riportato dall'Associazione Europea per i Sistemi a cappotto ETICS, secondo cui i materiali isolanti maggiormente utilizzati in Europa nel 2020 sono stati l'EPS con il 70% e la Lana Minerale (Mineral Wool - MW) al 26%.

Per avere dunque una mole di dati utili da poter estrapolare un trend significativo associato alle varie categorie di impatto, si è deciso di prendere in considerazione i soli sistemi ETICS con i pannelli in EPS e MW. Con l'obiettivo di definire il benchmark di riferimento per la fase di produzione, si è provveduto alla determinazione di una stratigrafia generica media per un sistema ETICS, sia nel caso di utilizzo del pannello in EPS che in MW.

Il sistema ETICS scelto è stato definito dai seguenti componenti e rappresentato in Figura 2:

- Collante
- Isolante
- Rasante
- Rete fibra vetro
- Finitura
- Primer
- Tasselli

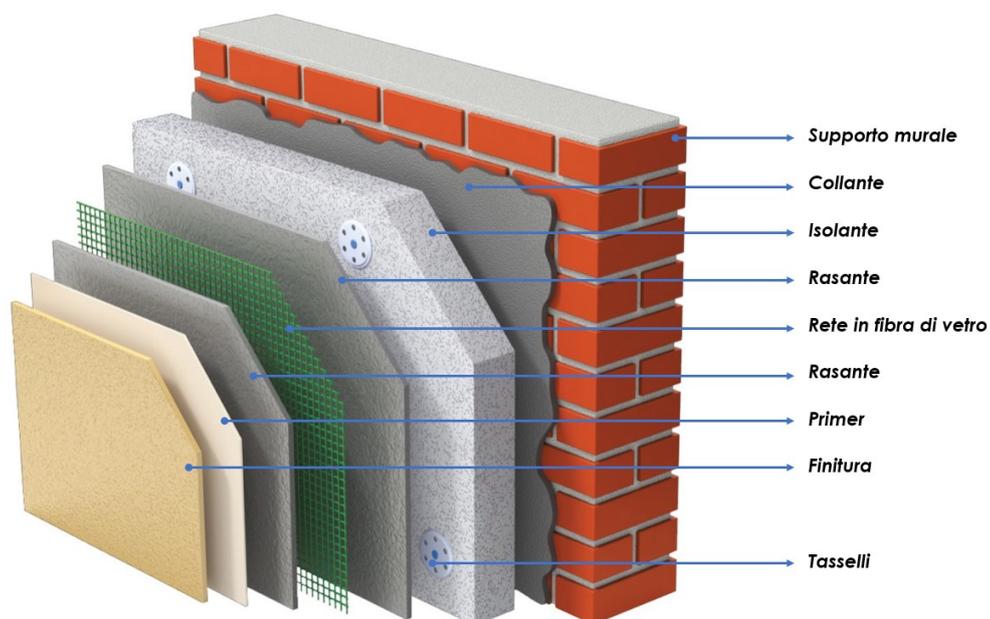


Figura 2: Componenti principali del sistema ETICS

Il supporto murale su cui il cappotto viene applicato non è incluso nei confini del sistema studiato. Dai riferimenti analizzati, si è dunque provveduto ad estrapolare un range plausibile dei relativi consumi di ciascun componente per comporre il sistema ETICS con EPS e con MW rispettivamente. In

Tabella 35 sono riportati i valori dei consumi associati a tali sistemi.

Tabella 35: Componenti e materiali dei sistemi ETICS per tipologia di isolante

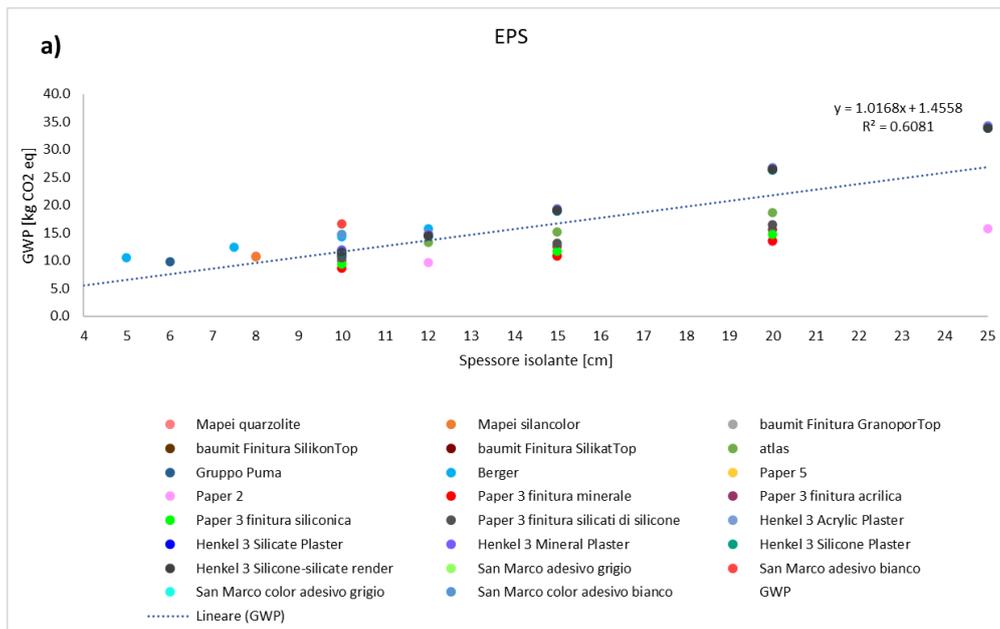
ETICS	EPS	MW
Componenti	Peso [kg/m ²]	Peso [kg/m ²]
Collante	4.00-7.00	4.00-10.00
Isolante	-	-
Rasante	3.00-6.00	5.00-6.00
Rete fibra vetro	0.10-0.20	0.10-0.20
Finitura	1.50-3.50	1.50-3.50
Primer	0.10-0.30	0.10-0.30
Tasselli	0.15-0.30	0.15-0.30

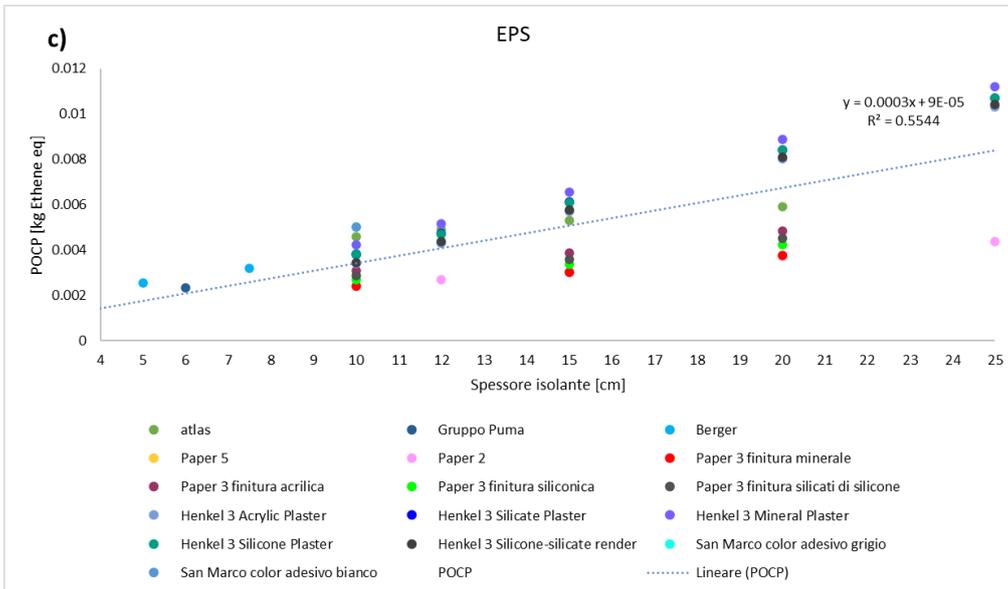
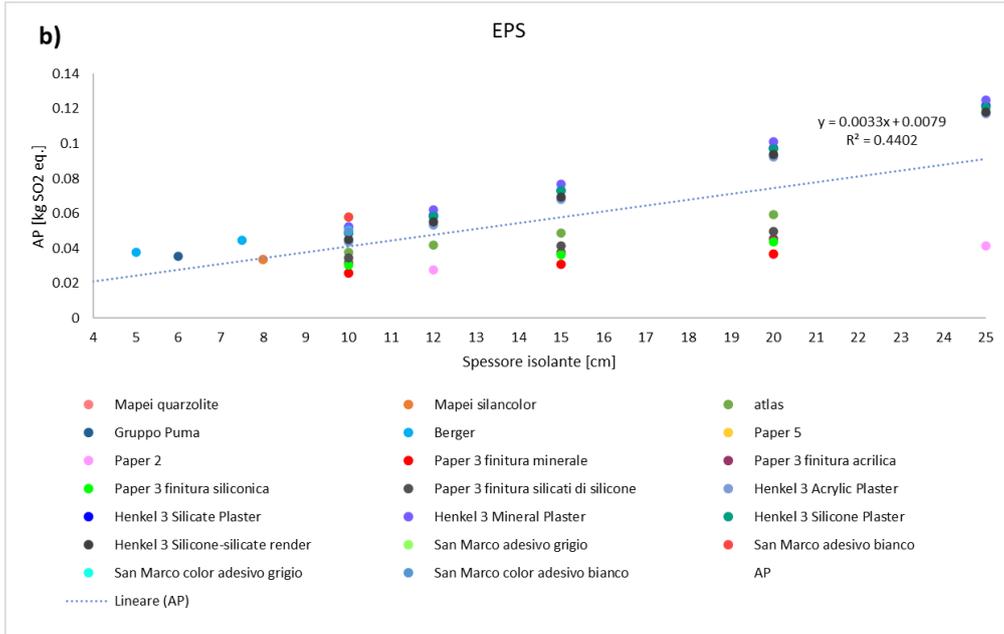
Da un'attenta analisi dei dati raccolti, alcuni studi riportavano il valore di alcune categorie di impatto espresso in un'unità di misura differente da quella presa in considerazione nel paragrafo 2. Nel dettaglio, per lo studio Baunit e Settef, la categoria di impatto AP e POCP vengono riportate rispettivamente in moli H⁺-eq e kg NMVOC-eq. Inoltre, Settef riporta anche l'impatto del potenziale di eutrofizzazione in kgP-eq. Per questo motivo, tali riferimenti sono stati esclusi dall'analisi per le categorie di impatto citate per dare uniformità ai dati raccolti. Inoltre, dai dati raccolti si evince che sia lo studio WDVS che il Gruppo Puma considerano nel loro sistema ETICS anche un altro componente in aggiunta a quelli definiti nella Figura 2, ossia il profilo in PVC, che viene utilizzato per fornire resistenza meccanica (

Tabella 10 e

Tabella 13). Per lo studio WDVS, il quantitativo di materiale associato al profilo in PVC risulta essere pari a 0.93 kg/m². Il suo contributo percentuale per le categorie di impatto GWP, AP, EP ed ADP-Fossil risulta essere quindi consistente: 12, 40, 12 e 13 % rispettivamente (

Tabella 12). Per questo motivo, si è scelto di non prendere in considerazione questo studio per l'elaborazione del benchmark di riferimento, in modo tale da ridurre l'errore di interpolazione dei dati. Diversamente, il consumo espresso in kg/m² per il profilo in PVC elaborato dallo studio Gruppo Puma, risulta essere esiguo, 0.12 kg/m². Di conseguenza, il peso percentuale in termini di impatto ambientale risulta in linea con il trend ricavato globalmente con l'insieme degli studi. I risultati ottenuti sono mostrati in Figura 3 e Figura 4. Si vuole specificare che sono stati riportati i grafici delle sole categorie di impatti ambientali che fornissero una tendenza dei dati con un errore quadratico medio (R²) superiore a 0.4. Per tale motivo, i grafici relativi a ODP, EP ed ADP-Mineral non sono stati riportati poiché fornivano un valore di R² inferiore a 0.4, sia per l'isolante EPS che per MW. I grafici ottenuti dall'analisi elaborata per le categorie di impatto selezionate (GWP, AP, POCP e ADP-Fossil) sono mostrati in Figura 3 e Figura 4, rispettivamente considerando il materiale isolante EPS e MW.





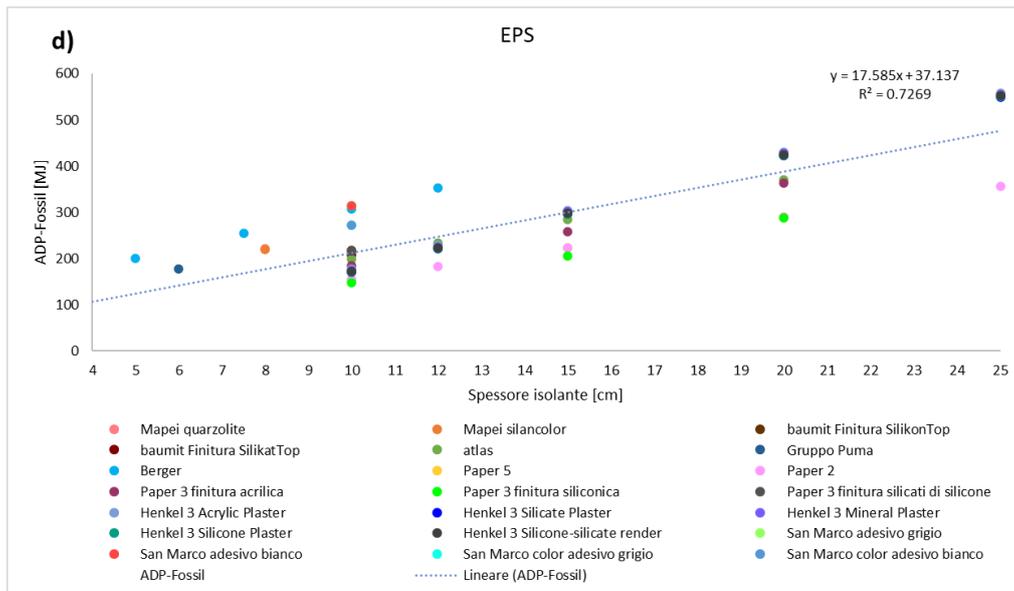
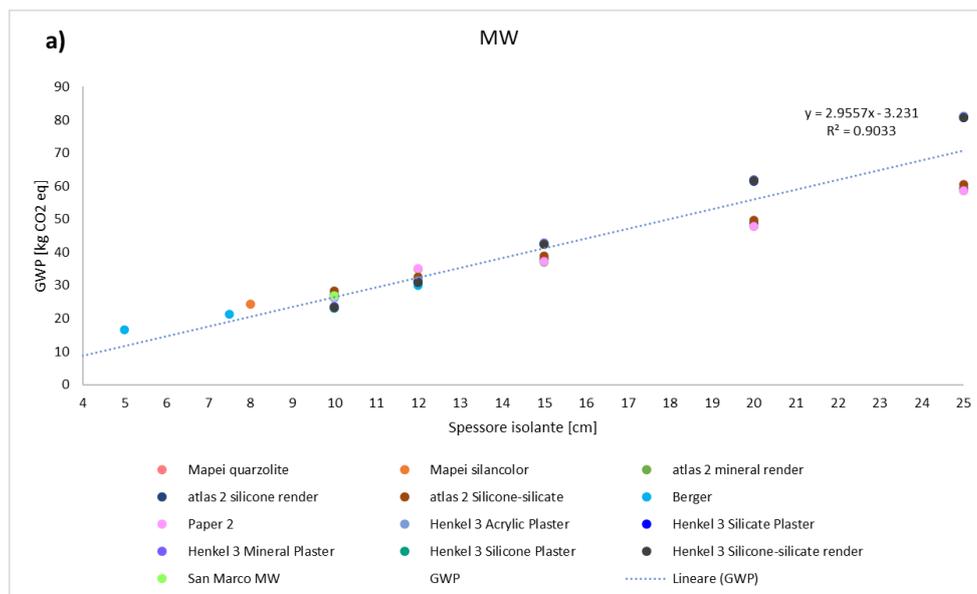


Figura 3: Andamenti delle categorie di impatto in funzione dello spessore di isolante (EPS): a) GWP; b) AP; c) POCP; d) ADP-Fossil



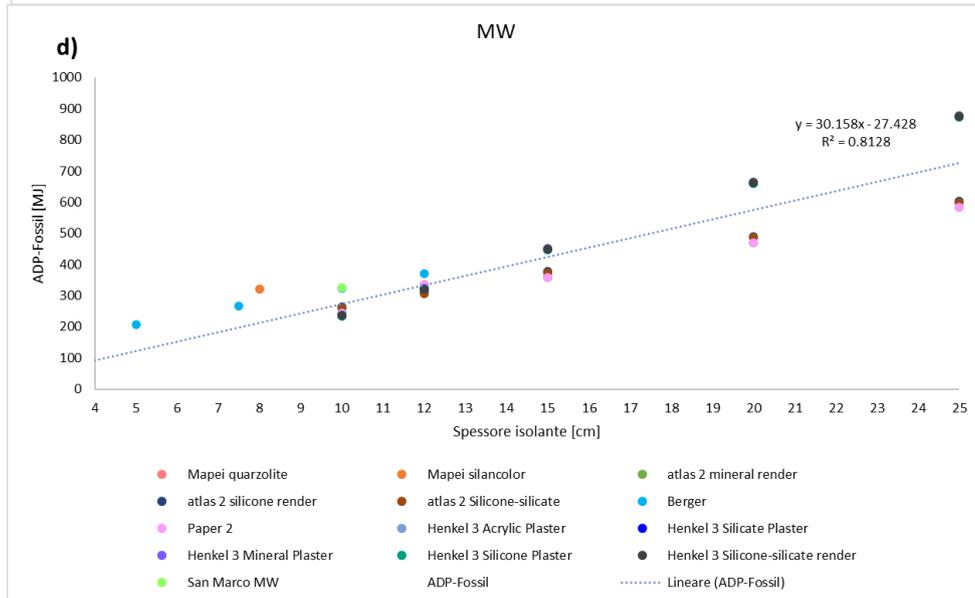
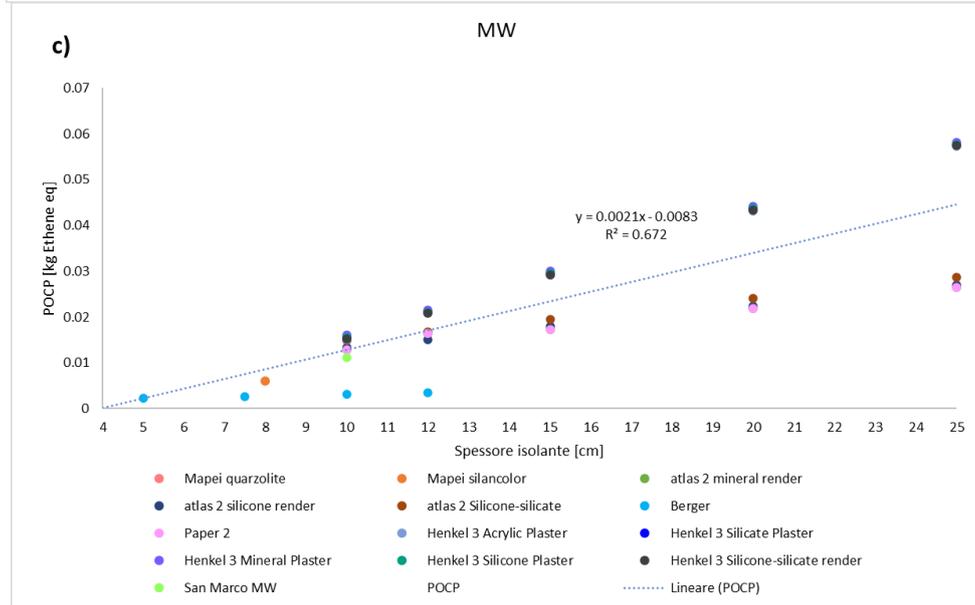
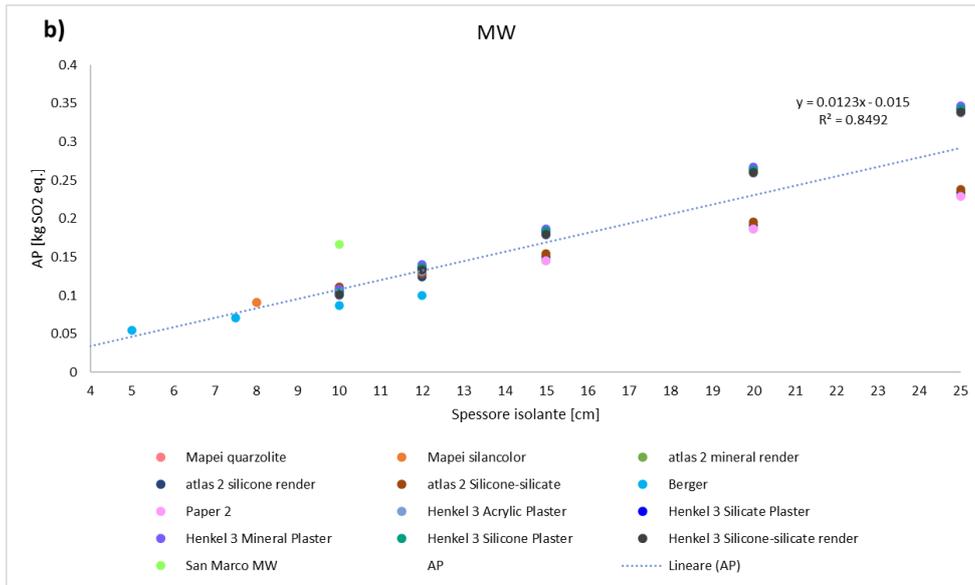


Figura 4: Andamenti delle categorie di impatto in funzione dello spessore di isolante (MW): a) GWP; b) AP; c) POCP; d) ADP-Fossil

Per ciascuna categoria di impatto scelta, si è quindi determinata l'equazione della retta interpolatrice dei valori degli impatti al variare dello spessore di isolante. In questo modo è stato possibile ottenere per qualsiasi spessore di isolante il valore del relativo impatto ambientale (benchmark di riferimento). I valori della pendenza e intercetta delle rette di ciascuna categoria di impatto, con il relativo valore di R^2 , sono riportati in

Tabella 36 sia per l'EPS che per la MW.

Tabella 36: Valori della pendenza e intercetta delle rette interpolatrici

ETICS	EPS			MW			
	Categorie d'impatto	Pendenza	Intercetta	R^2	Pendenza	Intercetta	R^2
GWP		1.01E+00	1.49E+00	0.6081	2.96E+00	-3.23E+00	0.9033
AP		3.32E-03	8.10E-03	0.4407	1.25E-02	-1.91E-02	0.8492
POCP		3.32E-04	9.46E-05	0.5544	2.12E-03	-8.32E-03	0.6720
ADP-Fossil		1.76E+01	3.71E+01	0.7269	3.04E+01	-2.63E+01	0.8128

3.2. Fase di costruzione

Come già specificato nel paragrafo 2.2, la fase di costruzione include la fase di trasporto e installazione del sistema ETICS. Per entrambe è stato definito il relativo benchmark di riferimento.

FASE DI TRASPORTO

Per la fase di trasporto, una volta determinati gli impatti ambientali in maniera analitica come specificato nel paragrafo 2.2, è stato calcolato il relativo benchmark di riferimento associato al materiale isolante EPS e MW. A tale scopo, gli impatti ambientali calcolati analiticamente (Tabella 32) vengono moltiplicati sia per la distanza reale, espressa in km, che intercorre tra il sito di produzione e il sito di installazione, sia per il peso di 1m^2 di materiale isolante espresso in tonnellate. Il peso di 1m^2 di EPS e MW, espresso in tonnellate, è stato calcolato secondo l'Equazione (1):

$$\text{Peso } 1\text{m}^2 \text{ materiale isolante} = \rho \cdot s / 1000 \quad (1)$$

dove,

- ρ è la densità espressa in kg/m^3 dell'EPS e della MW rispettivamente pari a $15 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $80 \text{ kg}/\text{m}^3$;
- s è lo spessore del materiale isolante espresso in m.

Si vuole specificare che lo spessore del materiale isolante viene ricavato dal valore della resistenza termica (R_t) desiderato espresso in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ del materiale isolante e dal relativo valore di conducibilità termica (λ), riportati in Tabella 37, secondo l'Equazione (2).

$$s = R_t \cdot \lambda \quad (2)$$

Tabella 37: Valori della conducibilità termica λ dei materiali isolanti

Materiale isolante	λ [$\text{W}/\text{m K}$]
EPS	0.034
MW	0.035

In Tabella 38 sono riportati gli impatti ambientali associati alla fase di trasporto, assumendo 1 tkm come unità funzionale, per i tre sistemi di trasporto considerati.

Tabella 38: Benchmark di riferimento per la fase di trasporto

	Autocarro	Treno	Nave
GWP (kgCO ₂ eq/tkm)	0,165	0,045	0,00928
AP (kg SO ₂ eq/tkm)	0,000515	0,000282	0,000244
POCP (kgC ₂ H ₄ eq/tkm)	2,07E-05	9,52E-06	6,21E-06
ADP-Fossil (MJeq/tkm)	2,45	5,42E-01	0,119

FASE DI INSTALLAZIONE

Per la fase di installazione, una volta determinati gli impatti ambientali in maniera analitica come specificato nel paragrafo 2.2, è stato calcolato il relativo benchmark di riferimento. In particolare, gli impatti ambientali calcolati analiticamente e riportati in Tabella 33, sono stati moltiplicati per il consumo medio di acqua ed energia elettrica ottenuto dall'analisi degli studi raccolti. Nel dettaglio, tra tutti gli studi analizzati, "Berger" ed il "Gruppo Puma" sono gli unici che hanno riportato il valore del consumo delle risorse di acqua ed energia elettrica associate alla fase di installazione. Per lo studio Berger il consumo di acqua ed energia elettrica risulta rispettivamente pari a 2.23 l/m² e 0.04 kWh/m² mentre per lo studio Gruppo Puma 3.04 l/m² e 0.13 kWh/m². Per calcolare quindi il benchmark di riferimento, si è scelto di utilizzare la media aritmetica dei consumi definiti dagli studi analizzati, rispettivamente pari a 2.635 l/m² e 0.085 kWh/m². Il benchmark di riferimento ottenuto, ossia la somma degli impatti ambientali associati alla fase di installazione relativa al consumo di acqua ed energia elettrica del sistema ETICS con EPS o MW è riportato in Tabella 39.

Tabella 39: Benchmark di riferimento per la fase di installazione

ETICS	EPS/MW
Categorie di impatto	Valore
GWP	3.68E-02
AP	1.45E-04
POCP	6.63E-06
ADP-Fossil	4.84E-01

3.3. Fase di fine vita

Come già specificato nel paragrafo 2.3, la fase di fine vita si riferisce alle emissioni prodotte dallo smaltimento del materiale isolante. Lo scenario assunto per la fase di smaltimento è quello del conferimento in discarica del prodotto. Il relativo benchmark di riferimento risulta essere quello determinato in maniera analitica descritto nel paragrafo 2.3 e riportato in

Tabella 34. Nel caso in cui l'azienda produttrice del sistema ETICS preveda, come scenario di fine vita del prodotto, il recupero, riciclo e reimpiego dei materiali componenti il sistema di isolamento a cappotto al fine di perseguire obiettivi di circular economy, l'impatto ambientale complessivo associato a questa fase sarà considerato nullo.

3.4. Vita utile dei sistemi ETICS

La conoscenza della durabilità dei componenti edilizi (durata e affidabilità) è fondamentale per operarne una scelta in termini compatibili con la sostenibilità del loro impiego in funzione dell'obsolescenza differenziata dalle parti dell'edificio e, in particolare, per decidere circa la tipologia manutentiva da adottarsi.

La stima della vita utile in condizioni di progetto, secondo quanto indicato nella UNI 11156:2006 (Valutazione della durabilità dei componenti edilizi), si basa sull'utilizzo di uno dei seguenti tipi di metodo, che si differenziano principalmente per il grado di complessità (e quindi per la quantità di informazioni e risorse necessarie per applicarlo):

- **Metodo fattoriale:** è un metodo che consente di determinare la vita utile in opera correggendo la Vita Utile di Riferimento (RSL) con dei fattori moltiplicativi (generalmente compresi tra 0,8 e 1,2) che tengono conto delle condizioni particolari in cui il componente è utilizzato (qualità di produzione, progettazione e posa in opera, agenti sollecitanti, manutenzione programmata molto frequente, particolare cura dei dettagli costruttivi, etc.).
- **Metodi statistici:** sono metodi che si basano sull'analisi stocastica sia del contesto sollecitante (agenti) sia del comportamento dei materiali. Data la loro natura statistica necessitano di un'elevata quantità di informazioni e comportano un grande impiego di risorse, risultando quindi economicamente applicabili solamente in progetti di grandi dimensioni. Nei metodi statistici il degrado è trattato come un fenomeno stocastico: per ogni caratteristica, in ogni periodo di tempo, è definita una probabilità di degrado.
- **Metodi ingegneristici:** sono metodi caratterizzati da un grado di complessità paragonabile a quello comunemente affrontato dai progettisti nella pratica di progettazione. Molto interessante per la sua semplicità è il metodo fattoriale, che è stato appunto scelto per valutare la vita utile (ESL) dei sistemi ETICS e il cui calcolo è stato imposto, secondo quanto definito in "Marques, C., de Brito, J., & Silva, A. (2018). Application of the factor method to the service life prediction of ETICS. International Journal of Strategic Property Management, 22(3), 204-222", sulla base della seguente espressione (3):

$$ESL = RSL \cdot A1 \cdot A2 \cdot B1 \cdot B2 \quad (3)$$

dove:

- RSL: è la vita utile di riferimento che per i sistemi ETICS può essere assunta pari a 25 anni, secondo quanto riportato dalla Linea Guida Tecnica ETAG 004 (European Technical Approval Guideline) per Sistemi ETICS;
- A1: è il fattore correttivo che tiene conto delle caratteristiche del materiale della finitura del sistema ETICS; si considera un valore di 1.2 nel caso di finitura ceramica e 1 negli altri casi;
- A2: è il fattore correttivo che tiene conto del tipo di colore della finitura; si considera un valore di 0.8 nel caso di colori scuri, 1 per il colore bianco e 1.2 per altri tipi di colori;
- B1: è il fattore correttivo che tiene conto della tipologia di finitura del sistema ETICS; si considera un valore di 0.8 nel caso di finitura con superficie rugosa e 1 nel caso di superficie liscia;
- B2: è il fattore correttivo che tiene conto del livello di protezione del sistema ETICS; si considera un valore di 1.2 nel caso di impiego di profili per la protezione dei bordi, 1 nel caso di impiego di sistemi di zoccolatura e 0.8 negli altri casi;

All'interno dell'espressione (3) non si è tenuto conto di fattori che non dipendono dalle caratteristiche del sistema ETICS ma da altri fattori, come la qualità dell'esecuzione, le condizioni dell'ambiente interno ed esterno e delle condizioni di uso.

4. Determinazione costi sistema ETICS

Un altro importante obiettivo di questo lavoro è quello di stimare il costo del sistema ETICS non solo sulla base dei costi dei vari materiali di cui è composto il sistema a cappotto, ma anche dei costi derivanti da esternalità ambientali, ossia dall'intero ciclo vita del prodotto.

La direttiva europea 2014/24/UE sugli appalti pubblici, che abroga la precedente 2004/18/CE, promuove l'inserimento delle considerazioni ambientali nei criteri di aggiudicazione sotto forma di criteri ambientali e di costi di ciclo di vita. Il Life Cycle Costing incoraggia a pensare al di fuori del solo criterio del prezzo. Per garantire la considerazione degli effetti ambientali è quindi necessario considerare l'intero ciclo di vita del prodotto visto che il fine ultimo è quello di garantire un servizio con il minor esborso per la collettività che lo finanzia dal momento che si sta considerando un contesto legato agli appalti pubblici.

Nel dettaglio, in questa attività si è voluto fornire un tool di calcolo che permettesse non solo di determinare un costo effettivo del sistema ETICS espresso in €/m² ma anche un indicatore, espresso in €/(m²K/W), che fornisca l'indicazione dell'effettiva convenienza sia economica che ambientale di un dato sistema con un tipo di isolante rispetto ad un altro. In questo modo è possibile scegliere facilmente quale materiale isolante, a parità di resistenza termica, fornisce le condizioni economiche ed ambientali più favorevoli. Nel caso di bandi di gare, appalti pubblici o incentivi per l'utilizzo di materiali "green", questo tool fornisce l'indicatore tale per cui un materiale è più conveniente rispetto ad un altro, in termini economici ed ambientali.

4.1. Life Cycle Costing (LCC)

Il life cycle costing (LCC) è uno strumento che permette di valutare in grandezze monetarie i costi di un bene lungo il ciclo di vita con la capacità di stimare in termini economici e finanziari le conseguenze future in base alle scelte attuali; il life cycle costing può considerarsi complementare al life cycle assessment che si basa però su grandezze fisiche. Il life cycle costing può quindi essere in grado di stimare la fattibilità economica di alternative ambientalmente o socialmente preferibili.

I costi totali che determinano la scelta di un prodotto/servizio si dividono in:

1. costi economici: si riferiscono alle risorse consumate nel periodo di valutazione
2. costi ambientali: derivano dai danni che l'attività causa all'ambiente circostante e agli stessi esseri umani, si definiscono esternalità ambientali

In base a questi due tipi di costi il LCC può essere valutato con:

- costi diretti sostenuti lungo il ciclo di vita senza riferimenti ad aspetti ambientali: LCC Classico
- costi diretti e costi ambientali correlati al ciclo di vita: Environmental LCC

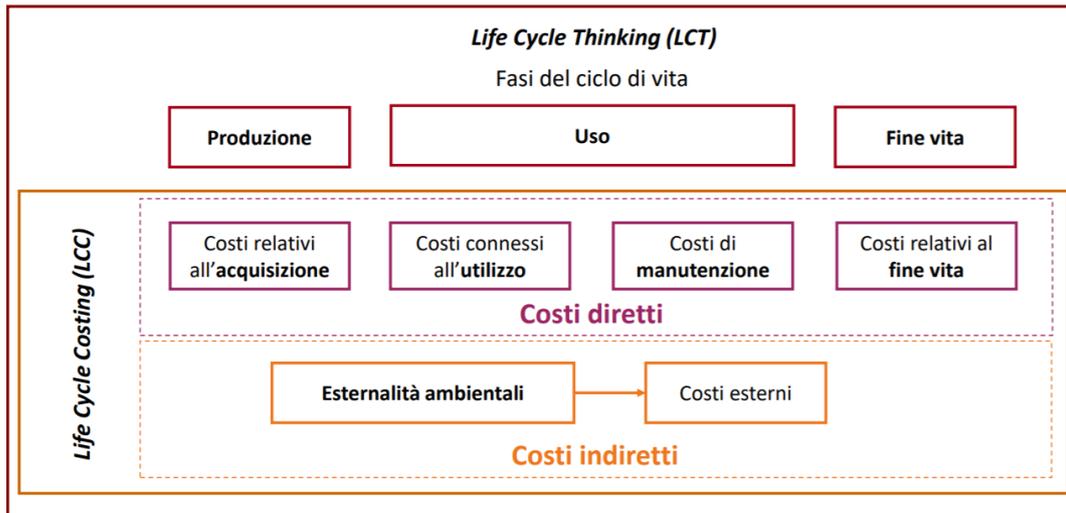


Figura 5: Distribuzione dei costi diretti e indiretti

Come è possibile vedere dalla Figura 5, nell'LCC ambientale ai costi convenzionali legati all'acquisizione, all'utilizzo, alla manutenzione e al fine vita del bene vengono sommati i costi ambientali esterni. Questi costi ambientali esterni è possibile valutarli tramite un'analisi LCA sugli impatti ambientali del bene in questione che misuri ad esempio i costi esterni del cambiamento climatico associati alle emissioni di gas serra; questi costi ambientali sono calcolabili rispetto a vari impatti misurabili come acidificazione, eutrofizzazione, ossidazione fotochimica, etc. Condizione necessaria è quindi quella che i costi ambientali siano quantificabili e monetizzabili per poterli così esprimere in termini monetari e sommarli agli altri. L'obiettivo è quello di individuare un unico indicatore che consenta di selezionare il prodotto ambientalmente ed economicamente più sostenibile all'interno di un gruppo, come accade nell'ambito degli appalti pubblici. Per fare ciò, sono stati utilizzati i cosiddetti modelli di monetizzazione delle esternalità ambientali. La monetizzazione esprime l'importanza relativa di una categoria di impatto in termini monetari. Questo valore può essere basato sui costi associati alla prevenzione o alla riparazione dei danni (ad esempio i costi dei danni utilizzando i prezzi di mercato). Un altro esempio per monetizzare una categoria di impatto è misurare quanto le persone sono disposte a pagare per prevenire un determinato impatto. In questo caso si valuta la volontà espressa (attraverso interviste) o la disponibilità stimata a pagare attraverso l'attribuzione di un valore da parte degli utenti o la misurazione delle perdite di benessere, oppure la disponibilità politica a pagare. Sulla base di questi approcci, sono stati sviluppati diversi metodi di monetizzazione che sono ampiamente utilizzati per la ponderazione degli impatti ambientali risultanti dagli studi LCA.

In questo lavoro si è deciso di prendere come riferimento soltanto i metodi di monetizzazione che individuano i costi delle esternalità ambientali riferite, almeno parzialmente, alle categorie di impatto scelte:

- Global Warming Potential (GWP) espresso in kg CO₂ eq.
- Ozone Depletion Potential (ODP) espresso in kg CFC-11 eq.
- Acidification Potential (AP) espresso in kg SO₂ eq.
- Eutrophication Potential (EP) espresso in kg PO₄³⁻eq.
- Formation potential of tropospheric ozone (POCP) espresso in kg Ethene eq
- Abiotic Depletion Potential (ADP-minerals) for non-fossil resources espresso in kg Sb-eq.
- Abiotic Depletion Potential (ADP-fossil) for fossil resources espresso in MJ

ossia:

- **Ecotax 2002:** è un approccio di monetizzazione basato sulle ecotasse svedesi e sulle imposte su emissioni e uso di risorse. Si assume che le decisioni politiche riflettano i valori sociali degli impatti ambientali. Questo metodo utilizza anche le categorie di impatto del metodo CML Baseline, che sono compatibili con l'uso di EPD. In alcuni casi, una imposta può essere utilizzata direttamente come fattore di ponderazione, ad esempio la tassazione sulla CO₂ per il riscaldamento globale (CO₂ eq.). In altri casi, i valori di ponderazione sono calcolati sulla base delle tasse esistenti, ad esempio, le tasse sui fertilizzanti azotati sono adattate per fornire un fattore di ponderazione per l'eutrofizzazione.
- **Stepwise 2006:** è un metodo di monetizzazione basato sui risultati del metodo LCIA Ecoindicator99, che fornisce risultati come indicatori fisici per ciascuno dei tre seguenti aspetti di salvaguardia: salute umana, qualità degli ecosistemi e consumo di risorse. Queste categorie di danno vengono ridefinite in modo che possano essere misurate in:
 - salute umana - Quality Adjusted Life Years (QALY, costo che una persona media è disposta a pagare per un anno di vita aggiuntivo);
 - qualità degli ecosistemi - Biodiversity Adjusted Hectare Years (BAHY)
 - consumo di risorse - unità monetariePer aggregare questi risultati, viene attribuito un valore monetario a QALY e BAHY e viene fissato un tasso di cambio tra BAHY e QALY, misurando gli impatti sulla produttività delle risorse. Attualmente, il metodo STEPWISE utilizza modelli di caratterizzazione dai metodi LCIA IMPACT2002 e EDIP2003. Anche se il formato delle informazioni ambientali fornite dalle EPD non è compatibile con questo metodo, tuttavia è possibile ricavare mediante delle opportune conversioni dei valori monetari relative ad alcune specifiche categorie di impatto previste nella EPD.
- **Ecovalue 08** si basa su fattori di ponderazione che aggregano impatti midpoint su un impatto monetizzato endpoint. Si basa sulle valutazioni di mercato dell'esaurimento delle risorse e sulle stime individuali della disponibilità a pagare (WTP) per la qualità ambientale. Il metodo di caratterizzazione utilizzato per le categorie di impatto midpoint è il CML Baseline. Anche questo metodo è compatibile con l'uso di EPD come fonte di dati di impatto ambientale.
- **Environmental Prices:** è il metodo di monetizzazione più recente sviluppato dal centro studi olandese Delft nel 2018 ed è applicabile al territorio europeo. Il metodo esprime la disponibilità a pagare per un minore inquinamento ambientale in euro per chilogrammo di inquinante. Indica la perdita di benessere economico derivante da ogni chilogrammo aggiuntivo di inquinante che entra nell'ambiente e spesso coincide con i costi esterni. Il metodo Environmental Prices si distingue in base alle categorie ambientali che monetizza. In particolare, vengono definite cinque categorie endpoint:
 - Salute umana (morbilità, cioè malattia e mortalità prematura);
 - Servizi ecosistemici (compresa l'agricoltura);
 - Edifici e materiali (capitale artificiale);
 - disponibilità di risorse;
 - Benessere (valori estetici ed etici).

Per quanto riguarda le categorie midpoint, i costi ambientali vengono definiti per le categorie di impatto ambientale definite dal metodo ReCiPe e non sono coerenti con le informazioni fornite dalle EPD. Tali categorie midpoint sono:

- Climate change (kg CO₂-eq)
- Ozone depletion (kg CFC-eq)
- Human toxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Photochemical oxidant formation (kg NMVOC-eq)
- Particulate matter formation (kg PM₁₀-eq)

- Ionizing radiation (kg kBq U235-eq)
- Acidification (kg SO2-eq)
- Freshwater eutrophication (kg P-eq)
- Marine eutrophication (kg N)
- Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Freshwater ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Marine ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Land use (m2*year)
- Noise (>60dB)

In Tabella 40 sono riportati i valori monetari dei relativi metodi di monetizzazione.

Tabella 40: Valori monetari delle esternalità ambientali attualizzati al 2020

	ECOTAX02	STEPWSE06	ECOVALU08	ENVIRONMENTAL PRICES
GWP (€/kgCO2eq)	0.09	0.1	0.25	0.0577
AP (€/kg SO2eq)	2.65	0.19	3.81	5.07
POCP (€/kgC2H4eq)	71	0.7	5.08	0.71
ADPF (€/MJ)	0.03	0.005	0.00051	-

In questa attività, il costo ambientale relativo al sistema ETICS, scelto sulla base dello spessore e tipo di isolante, viene determinato moltiplicando il valore della categoria di impatto ambientale per i vari fattori monetari dei relativi metodi di monetizzazione.

4.2. Costi di realizzazione dei sistemi ETICS

Per quanto riguarda i costi relativi ai vari materiali che compongono il sistema a cappotto, si è scelto di basarsi sui costi indicati nel prezzario della casa editrice Dei 2020. Il prezzario Dei è una delle fonti ufficiali, insieme ai prezzari regionali, ai quali la norma agevolativa fa riferimento per la verifica della congruità delle spese effettuate nell'ambito degli interventi edili. Nel dettaglio, il prezzario Dei "Recupero Ristrutturazione Manutenzione" riporta tutti i costi di manodopera, noli e costi orari di macchine e strumentazioni, materiali, opere compiute ecc. In questa attività, sono stati determinati, mediante prezzario DEI 2020, il costo di tutti i componenti del sistema a cappotto. Si riporta in Figura 6 un estratto dei prezzi, con i relativi codici da prezzario, dei materiali isolanti (Figura 6 a)), della mano d'opera e del ponteggio (Figura 6b)) come esempio.

Polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite, autoestinguente euroclasse E, in lastre con incastro maschio-femmina, ad alta resistenza meccanica per isolamento sotto pavimento, tetto rovescio, sotto manto e cappotti esterni, rispondente ai requisiti CAM (Criteri Ambientali Minimi) di cui al DM Ministero dell'Ambiente 11/10/2017, densità 15 kg/m³ secondo UNI 13163 e rispondenti alle norme ETICS, resistenza a compressione > 80 kPa, classe E secondo UNI EN ISO 119-2, conducibilità termica λ = 0,034 W/mK secondo UNI EN 12667:

B13004 dimensioni 50 x 100 cm a spigolo vivo, per sistemi ad incollaggio:

a spessore 30 mm.....	m ²	€	3,19
b spessore 40 mm.....	m ²	€	4,45
c spessore 50 mm.....	m ²	€	5,92
d spessore 60 mm.....	m ²	€	7,39
e spessore 80 mm.....	m ²	€	8,86
f spessore 100 mm.....	m ²	€	11,80
g spessore 120 mm.....	m ²	€	14,74
h spessore 140 mm.....	m ²	€	16,80
i spessore 160 mm.....	m ²	€	19,20

B13005 dimensioni 50 x 50 cm con bordi fresati, per sistemi a fissaggio meccanico:

a spessore 60 mm.....	m ²	€	7,20
b spessore 80 mm.....	m ²	€	9,60
c spessore 100 mm.....	m ²	€	12,00
d spessore 120 mm.....	m ²	€	14,40
e spessore 140 mm.....	m ²	€	16,80
f spessore 160 mm.....	m ²	€	19,20

B13003 Polistirene espanso estruso a celle chiuse XPS, in pannelli omogenei monostrato, reazione al fuoco Euroclasse E, rispondente ai requisiti CAM (Criteri Ambientali Minimi) di cui al DM Ministero dell'Ambiente 11/10/2017, dimensioni 1.250 x 600 mm a bordo dritto, resistenza a compressione ≥ 300 kPa:

a spessore 30 mm, conduttività termica λ 0,034 W/mK.....	m ²	€	4,94
b spessore 40 mm, conduttività termica λ 0,034 W/mK.....	m ²	€	6,65
c spessore 50 mm, conduttività termica λ 0,034 W/mK.....	m ²	€	8,27
d spessore 60 mm, conduttività termica λ 0,034 W/mK.....	m ²	€	9,98
e spessore 80 mm, conduttività termica λ 0,036 W/mK.....	m ²	€	13,30
f spessore 100 mm, conduttività termica λ 0,036 W/mK.....	m ²	€	16,63

ISOLANTI IN SUGHERO

B13034 Sughero compresso in pannelli di densità pari a 135/140 kg/m³, rispondente ai requisiti CAM (Criteri Ambientali Minimi) di cui al DM Ministero dell'Ambiente 11/10/2017, resistenza alla compressione 4,5 kg/cm², conduttività termica λ 0,043 W/mK:

a spessore 20 mm.....	m ²	€	10,80
b spessore 30 mm.....	m ²	€	14,00
c spessore 40 mm.....	m ²	€	18,40
d spessore 50 mm.....	m ²	€	22,40
e spessore 60 mm.....	m ²	€	25,60
f spessore 80 mm.....	m ²	€	32,80

Lana di roccia in pannelli doppia densità, senza rivestimento, rispondente ai requisiti CAM (Criteri Ambientali Minimi) di cui al DM Ministero dell'Ambiente 11/10/2017, per sistemi termoisolanti a cappotto, dimensioni fino spessore 200 mm 1.200 x 600 mm, dimensioni oltre spessore 200 mm 1.000 x 600 mm, conduttività termica λ 0,034 - 0,035 W/mK:

B13051 densità 78 kg/m³, resistenza a compressione (carico distribuito) ≥ 15 kPa:

a spessore 50 mm.....	m ²	€	9,03
b spessore 60 mm.....	m ²	€	10,84
c spessore 80 mm.....	m ²	€	14,47
d spessore 100 mm.....	m ²	€	18,08
e spessore 120 mm.....	m ²	€	21,70
f spessore 140 mm.....	m ²	€	25,31
g spessore 160 mm.....	m ²	€	28,93
h spessore 180 mm.....	m ²	€	32,55
i spessore 200 mm.....	m ²	€	36,17
j spessore 220 mm.....	m ²	€	39,77
k spessore 240 mm.....	m ²	€	43,40

B13052 densità 80 kg/m³, per edifici di altezza fino a 7 m:

a spessore 60 mm.....	m ²	€	11,06
b spessore 80 mm.....	m ²	€	14,76
c spessore 100 mm.....	m ²	€	18,44
d spessore 120 mm.....	m ²	€	22,13
e spessore 140 mm.....	m ²	€	25,82
f spessore 160 mm.....	m ²	€	29,51
g spessore 180 mm.....	m ²	€	33,19
h spessore 200 mm.....	m ²	€	36,89
i spessore 220 mm.....	m ²	€	40,57
j spessore 240 mm.....	m ²	€	44,27

a)

MANO D'OPERA - MEDIA NAZIONALE			
M01001 Edile IV livello:			
a	costo non comprensivo delle spese generali ed utili dell'impresa..... ora	€	30,30
b	prezzo comprensivo di spese generali ed utili d'impresa pari al 28,70%..... ora	€	39,00
M01002 Edile specializzato:			
a	costo non comprensivo delle spese generali ed utili dell'impresa..... ora	€	28,77
b	prezzo comprensivo di spese generali ed utili d'impresa pari al 28,70%..... ora	€	37,02
M01003 Edile qualificato:			
a	costo non comprensivo delle spese generali ed utili dell'impresa..... ora	€	26,74
b	prezzo comprensivo di spese generali ed utili d'impresa pari al 28,70%..... ora	€	34,42
M01004 Edile comune:			
a	costo non comprensivo delle spese generali ed utili dell'impresa..... ora	€	24,08
b	prezzo comprensivo di spese generali ed utili d'impresa pari al 28,70%..... ora	€	30,99
N04132 Ponteggio completo, sistema tubo-giunto, compresi tavolati metallici, tavole fermapiede, chiusure di testate, ancoraggi in ragione di uno ogni 22 m² circa e mantovane parasassi installate ogni 14 m di altezza. Valutato a m² di proiezione prospettica di facciata per ogni mese di noleggio, secondo le seguenti tipologie di utilizzo considerate:			
a	per realizzazioni di limitata difficoltà (facciate normali, ecc.) con un utilizzo di 1,8 giunti/m ² e di 1,8 m di tubo per giunto..... m ²	€	2,50

b)

Figura 6: Estratto del prezzo DEI2020: a) costi dei materiali isolanti; b) costi mano d'opera e noleggio ponteggi

Il costo complessivo per la realizzazione del sistema ETICS viene quindi rapportato alla sua vita utile, assumendo come vita utile di riferimento una durata di 25 anni (RSL).

$$\text{Costo installazione sistema ETICS (€/m}^2\text{)} = (\text{Materiali} + \text{Mano d'opera} + \text{Noleggio}) \cdot \text{RSL/ESL} \quad (4)$$

4.3. Costi di rimozione del sistema ETICS

Al fine di confrontare sistemi ETICS caratterizzati da una diversa vita utile, si è deciso di quantificare i costi legati alla diversa frequenza di rimozione del sistema a cappotto.

A tale riguardo è stato assunto un costo di rimozione univoco pari a 21.90 €/m², calcolato secondo le seguenti assunzioni:

- operaio specializzato: 0.1 h (26.44 €/h);
- operaio qualificato: 0.15 h (24.60 €/h);
- manovale (operaio comune): 0.15 h (22.14 €/h);
- smaltimento con ritiro su cassoni presso il cantiere (compreso noleggio cassone): 1 m² (7.66 €/m²);
- spese generali: 15%;
- utile d'impresa: 10%.

Dopodiché, assumendo come vita utile di riferimento una durata di 25 anni (RSL), a ciascun sistema ETICS sono associati i seguenti costi aggiuntivi:

$$\text{Costo rimozione } (\text{€/m}^2) = 21.90 \cdot \text{RSL/ESL} \quad (5)$$

Una volta stabilito il costo di ciascun componente, è stato elaborato uno strumento informatico di calcolo che permettesse di determinare automaticamente il costo associato all'intero sistema ETICS comprensivo delle esternalità ambientali.

5. Strumento informatico di calcolo

L'output ottenuto dall'attività WP2 – LA2.14, eseguita dal CINTEST, rappresenta uno strumento informatico consistente in un foglio di calcolo per la stima di un indicatore per la valutazione della sostenibilità economico-ambientale, in un'ottica di ciclo di vita, di processi per la produzione di sistemi di isolamento di facciata.

Lo strumento potrà essere utilizzato dalle aziende che producono o assemblano sistemi di isolamento di facciata per confrontare le performance economico-ambientali del proprio sistema con quelle di riferimento dello stesso settore. Nel dettaglio, l'azienda, una volta elaborato uno studio LCA su di un proprio sistema ETICS, potrà confrontare le prestazioni ambientali del proprio prodotto con quelle determinate con questo strumento informatico, a parità di caratteristiche termiche. In questo modo potranno essere evidenziati eventuali hotspot dal punto di vista economico-ambientale che consentiranno alle aziende di individuare le fasi del processo migliorabili in un'ottica di ciclo di vita. Tale strumento potrà essere utilizzato anche dalle amministrazioni pubbliche: in fase di gara di appalto pubblico, l'amministrazione può determinare, a parità di resistenza termica del materiale isolante, la soluzione economica-ambientale più efficiente presentata. In alternativa, fissata una resistenza termica del sistema ETICS da garantire, mediante lo strumento informatico si determinano gli impatti ambientali di riferimento limite. Le ditte partecipanti potranno presentare le proprie alternative con qualsiasi materiale isolante purché al tempo stesso vengano rispettati, a parità di resistenza termica, i valori limite di impatti ambientali.

Lo strumento informatico prodotto dalla linea di attività LA2.14, si presenta in una versione user friendly, fornendo le prestazioni sia economiche che ambientali del prodotto scelto. Per quanto riguarda le prestazioni economiche, il tool di calcolo prende in considerazione sia i costi associati a ciascun componente del sistema ETICS, sia i costi associati alle esternalità ambientali. Per tale motivo, oltre che fornire un prezzo indicativo espresso in €/m² di tale sistema, si determina anche un indicatore di costo che, a parità di resistenza termica del materiale isolante, fornisce un'indicazione della convenienza economica globale comprensiva delle esternalità ambientali. Tale indicatore, risulta essere espresso in €/m²K/W. In questa attività il tool è stato realizzato per confrontare il sistema ETICS che contiene come materiale isolante l'EPS e quello con la lana minerale. È possibile definire anche i consumi, espressi in kg/m², dei vari componenti che compongono il sistema, ad eccezione del materiale isolante per cui i costi vengono riportati in funzione del solo spessore. In funzione della resistenza termica che si vuole raggiungere, si determina automaticamente lo spessore dell'isolante necessario e quindi tutti i relativi costi di ciascun componente. A questo punto viene fornito sia il prezzo finale del sistema espresso in €/m², sia l'indicatore in €/m²K/W che determina quale sistema ETICS risulta economicamente ed ambientalmente più vantaggioso.

Di seguito si mostra un esempio pratico del funzionamento dello strumento informatico di calcolo. Per non perdere di generalità, si riporta solo il caso del sistema ETICS con l'utilizzo dell'EPS come materiale isolante. Nella Figura 7 a), è riportata la schermata generale della sezione "DATI". Per rendere maggiormente user friendly questo strumento informatico, sono state evidenziate in giallo le caselle editabili dall'utente. Nel dettaglio è possibile inserire manualmente le caratteristiche dei componenti del sistema espressi in kg/m² e la resistenza termica dell'isolante, espressa in m²K/W (Figura 7 b)). Lo strumento informatico calcola

automaticamente lo spessore di isolante tale per cui si ottiene la resistenza termica inserita. Nella sezione “trasporto” (Figura 7 c)), è possibile inserire le distanze, espresse in km, relative a ciascuna forma di trasporto considerata (autocarro, treno, nave). Il tool calcherà l’impatto ambientale complessivo associato alla fase di trasporto del prodotto dall’unità di produzione al sito di installazione. Nella Figura 7 d), è riportata la schermata relativa all’inserimento dei consumi di acqua ed energia elettrica associati alla fase di installazione del sistema ETICS scelto. L’utente potrà inserire il valore desiderato oppure selezionare il valore “MEDIO” se intende eseguire il calcolo degli impatti associati considerando un valore medio dei consumi, scelto rispettivamente pari a 2.635 l/kg per il consumo di acqua e 0.085 kWh/m² per il consumo di energia elettrica. Infine, se l’utente garantisce il riciclaggio del materiale isolante del sistema ETICS installato al termine del suo ciclo di vita, può selezionare, tramite l’apposito menù a tendina della sezione “SMALTIMENTO” (Figura 7 e)), il corrispondente riferimento “Riciclaggio”. In questo caso il valore dell’impatto ambientale associato sarà nullo. Altrimenti, se non prevede una fase di riciclaggio a fine vita, può selezionare “Discarica” e verranno automaticamente calcolati gli impatti ambientali generati dalla fase di smaltimento in discarica (modulo C4). Infine, in Figura 7 f) è mostrata la sezione per la scelta dei parametri relativi alla stima della vita utile in condizioni di progetto del sistema ETICS, secondo quanto indicato nella UNI 11156:2006 (Valutazione della durabilità dei componenti edilizi). In particolare, per ogni fattore considerato è possibile effettuare la scelta desiderata tramite l’apposito menù a tendina. Senza perdere di generalità, in Figura 7 f) è mostrato il menù a tendina che appare per il fattore B2 associato alla scelta del livello di protezione del sistema ETICS.

DATI			
EPS		COSTO PANNELLO EPS	
SPESSORE ISOLANTE [cm]	10.2	λ [W/m K]	0.034
Componenti	Consumo (kg/m ²)	ρ [kg/m ³]	15
Collante polvere	5.5	cm	COSTO€/m ² incollaggio
Isolante	/	3	3.19
Rasante polvere	4.5	4	4.45
Rete fibra vetro	0.15	5	5.92
Primer	0.2	6	7.39
Finitura vinilacrilica traspirante	2.5	8	8.86
Tasselli	0.225	10	11.8
		12	14.74
		14	16.8
		16	19.2
			COSTO€/m ² fissaggio meccanico
Resistenza termica [m² K/W]	3		
TRASPORTO		Fattori vita utile sistema ETICS	
	km	A1	Ceramica
Autocarro	1	A2	Scuro
Treno	1	B1	Rugosa
Nave	1	B2	Profili per la protezione bordi
INSTALLAZIONE			
	Valore		
Acqua [l/m ²]	MEDIO		
Elettricità [kWh/m ²]	MEDIO		
SMALTIMENTO			
	Discarica		

a)

EPS	
SPESORE ISOLANTE [cm]	10.2
Componenti	Consumo (kg/m ²)
Collante polvere	5.5
Isolante	/
Rasante polvere	4.5
Rete fibra vetro	0.15
Primer	0.2
Finitura vinilacrilica traspirante	2.5
Tasselli	0.225
Resistenza termica [m² K/W]	3

b)

TRASPORTO	km
Autocarro	1
Treno	1
Nave	1

c)

INSTALLAZIONE	Valore
Acqua [l/kg]	MEDIO
Elettricità [kWh/m ²]	MEDIO

d)

SMALTIMENTO	Discarica
	<input type="checkbox"/> Discarica <input type="checkbox"/> Riciclaggio

e)

Fattori vita utile sistema ETICS	
A1	Ceramica
A2	Scuro
B1	Rugosa
B2	Profili per la protezione bordi <input type="checkbox"/> Profili per la protezione bordi <input type="checkbox"/> Zoccolatura <input type="checkbox"/> Altro

f)

Figura 7: Schermata strumento informatico – DATI: a) schermata generale; b) sezione dati caratteristiche pannello isolante; c) sezione relativa alla fase di trasporto; d) sezione relativa alla fase di installazione; e) sezione relativa alla fase di smaltimento; f) sezione relativa alla scelta dei fattori per il calcolo della vita utile

Una volta inseriti tutti i dati, lo strumento informatico calcolerà automaticamente i costi relativi ai materiali e alle esternalità ambientali. Una schermata generale della sezione “RISULTATI” relativa al sistema ETICS con EPS con caratteristiche riportate in Figura 7 b) è mostrata in Figura 8 a). Il costo totale del sistema in funzione

dei vari fattori di monetizzazione è associato ad 1 m² di sistema ETICS. In Figura 8 b) sono riportati i costi associati ai componenti del sistema, calcolati come prodotto dei quantitativi di ciascun componente (Figura 7 b)) e il relativo costo associato estrapolato dal prezzario della casa editrice DEI. Inoltre, viene riportato il costo associato alla rimozione del sistema ETICS calcolato in base alla stima della vita utile dello stesso secondo l'espressione (3). Nella schermata riportata in Figura 8 c), vengono riportati gli impatti ambientali per ciascuna categoria di impatto scelta relativa a ciascuna fase del ciclo di vita, produzione, trasporto, installazione e smaltimento (modulo A1- A3; A4; A5; C4 rispettivamente). Nella relativa sezione denominata "FATTORI DI MONETIZZAZIONE" viene determinato il costo associato alle esternalità ambientali espresso in €/m² calcolato come prodotto dei vari fattori di monetizzazione, con valori riportati in Tabella 40, per ciascun impatto ambientale associato a ciascuna fase. La somma dei costi, relativa a ciascun fattore di monetizzazione, associati ai materiali e alle esternalità ambientali è riportata nel riquadro in rosso mentre il relativo valore riportato sotto forma di indicatore espresso in €/m²K/W è riportato nel riquadro verde ed è ottenuto dividendo i costi totali per il valore della resistenza termica del sistema. Infine, in aggiunta a quanto riportato nel capitolato, nella schermata riportata in Figura 8 d), è mostrato l'impatto ambientale in percentuale per ciascuna categoria relativo a ogni componente del sistema ETICS. Nel dettaglio, tali percentuali sono state ricavate prendendo in riferimento gli impatti percentuali riportati in alcuni studi analizzati, tra cui ad esempio l'EPD dello studio redatto da "Mapei" (Tabella 4).

COSTI					RISULTATI				
Componente	Materiali €/m2	Installazione manodopera €/m2	Nolo ponteggi/attrezzature €/m2 mese	Rimozione €/m2	FASE				
Collante polvere	4.62				CATEGORIE DI IMPATTO				
Isolante	14.74				PRODUZIONE A1-A3	TRASPORTO A4	INSTALLAZIONE A5	SMALTIMENTO C4	
Rasante polvere	7.29				GWP [kg CO2eq]	1.18E-03	3.95E-04	3.68E-02	1.93E-01
Rete fibra vetro	2.29	46.54	2.5	23.8	AP [kg SO2eq]	4.19E-02	1.99E-06	1.45E-04	1.75E-04
Primer	2.68				POCP [kg Ethene eq]	3.48E-01	5.57E-08	6.69E-06	2.28E-05
Finitura vinilacrilica traspirante	8.40				ADP fossili [MJ]	3.17E-02	4.76E-03	4.84E-01	2.44E-01
Tasselli	-				FATTORI DI MONETIZZAZIONE				
PARZIALE €/m2	40.0	46.5	2.5	23.8	CATEGORIE DI IMPATTO	ECOTARIFF	STEPWISE6	ECOVALEUR	ENVIRONMENTAL PRICES
TOT €/m2	120.4				GWP [kg CO2eq]	1.98E+00	1.39E+00	3.09E+00	6.93E-01
					AP [kg SO2eq]	1.13E-01	8.93E-03	1.01E-01	2.14E-01
					POCP [kg Ethene eq]	2.49E-01	2.46E-03	1.78E-02	2.49E-03
					ADP fossili [MJ]	6.52E+00	3.09E+00	1.11E-01	1.11E-01
					TOT [€/m2]	7.96	2.90	8.29	6.93
					Costo totale [€/m2]				
						128.36	122.70	123.70	121.31
					Indicatore [€/m2K/W]				
						42.79	40.90	41.23	40.44

a)

COSTI					
Componente	Materiali €/m2	Installazione manodopera €/m2	Nolo ponteggi/attrezzature €/m2 mese	Rimozione €/m2	
Collante polvere	4.62				
Isolante	14.74				
Rasante polvere	7.29				
Rete fibra vetro	2.29	46.54	2.5	23.8	
Primer	2.68				
Finitura vinilacrilica traspirante	8.40				
Tasselli	-				
	PARZIALE €/m2	40.0	46.5	2.5	23.8
	TOT €/m2	120.4			

b)

CATEGORIE DI IMPATTO	FASE			
	PRODUZIONE A1-A3	TRASPORTO A4	INSTALLAZIONE A5	SMALTIMENTO C4
GWP [kg CO2eq]	1.18E+01	3.35E-04	3.68E-02	1.33E-01
AP [kg SO2eq]	4.19E-02	1.59E-06	1.45E-04	1.75E-04
POCP [kg Ethene eq]	3.48E-03	5.57E-08	6.63E-06	2.28E-05
ADP-fossil [MJ]	2.17E+02	4.76E-03	4.84E-01	2.44E-01
CATEGORIE DI IMPATTO	FATTORI DI MONETIZZAZIONE			
	ECOTAX02	STEPWISE06	ECOVALUE08	ENVIRONMENTAL PRICES
GWP [kg CO2eq]	1.08E+00	1.20E+00	3.00E+00	6.93E-01
AP [kg SO2eq]	1.12E-01	8.03E-03	1.61E-01	2.14E-01
POCP [kg Ethene eq]	2.49E-01	2.46E-03	1.78E-02	2.49E-03
ADP-fossil [MJ]	6.52E+00	1.09E+00	1.11E-01	
TOT [€/m2]	7.96	2.30	3.29	0.91

Costo totale [€/m2]	128.36	122.70	123.70	121.31
----------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Indicatore [€/m2K/W]	42.79	40.90	41.23	40.44
-----------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

c)

Impatto percentuale componenti sistema ETICS con isolante di spessore pari a cm 10.2				
Componenti	GWP [kg CO2eq]	AP [kg SO2eq]	POCP [kg Ethene eq]	ADP-fossil [MJ]
Collante polvere	13.04%	2.63%	1.61%	6.07%
Isolante	46.92%	33.66%	91.34%	62.72%
Rasante polvere	15.73%	3.58%	2.52%	7.02%
Rete fibra vetro	4.35%	5.27%	0.81%	3.98%
Primer	1.35%	6.11%	0.40%	1.68%
Finitura	13.45%	43.49%	2.92%	14.14%
Tasselli	5.17%	5.27%	0.40%	4.40%

d)

Figura 8: Schermata strumento informatico - RISULTATI: a) schermata generale; b) sezione costi materiali; c) sezione costi esternalità ambientali; d) impatti ambientali componenti del sistema ETICS

In Figura 9 si riporta il confronto fra il sistema ETICS con EPS e con MW a parità di resistenza termica ($3\text{m}^2\text{K/W}$) e fattori di vita utile (A1, A2, B1 e B2). Lo spessore di isolante risulta essere di 10.2 cm per EPS e 10.5 cm per MW. Nello specifico, si è scelto che la fase di trasporto avviene per mezzo di autocarro e la distanza percorsa è 100 km. Per la fase di installazione si è attribuito il valore medio ai consumi di acqua ed energia elettrica e per la fase di smaltimento, non si è previsto il riciclaggio del materiale isolante. Per la stima della vita utile del sistema ETICS, ai relativi fattori A1, A2, B1 e B2 è stata scelta una finitura ceramica, di colore bianco, di

tipologia liscia e come livello di protezione sono stati associati profili per la protezione dei bordi. Per tali condizioni, il sistema ETICS più vantaggioso in termini di costi dei materiali e costi dovuti alle esternalità ambientali risulta essere quello composto con l'EPS, per tutti i metodi di monetizzazione. In particolare, la lana minerale (MW) risulta avere un costo superiore di circa il 5-8% rispetto all'EPS. Come mostrato in Figura 9, è facilmente riscontrabile come, attraverso il valore dell'indicatore, è possibile verificare la convenienza economica ed ambientale del sistema, che in questo caso risulta essere più vantaggiosa per il sistema associato all'EPS (riquadro verde). Va inoltre evidenziato il fatto che, in generale, il costo relativo alle esternalità ambientali ha un tasso di incidenza sul costo totale molto basso. Nell'esempio analizzato, parliamo di un range che si attesta intorno al 1-8% nel caso dell'EPS e 2-12% nel caso della MW. Questo tool informatico risulta essere quindi un valido strumento per aziende produttrici di sistemi ETICS non solo per valutare complessivamente la convenienza economica di un sistema ETICS rispetto ad un altro ma anche per valutare selettivamente l'impatto ambientale associato a ciascuna fase del ciclo vita del prodotto. Nel caso dell'esempio riportato in Figura 9, è possibile affermare che la fase del ciclo vita con impatto ambientale maggiore risulta essere la fase di produzione sia nel caso dell'EPS che MW. Inoltre, l'azienda può conoscere, all'interno della fase di produzione, il componente che produce gli impatti maggiori. In questo caso, si vede come, in riferimento all'EPS, per la categoria di impatto GWP il contributo percentuale maggiore è fornito dal materiale isolante mentre per la categoria AP, dalla finitura. Nel caso della MW, il contributo maggiore per tutte le categorie di impatto risulta essere associato alla produzione del materiale isolante, che può quindi essere identificato tanto dal produttore quanto dal regolatore come la fase del processo che potrebbe beneficiare maggiormente da azioni di efficientamento. Inoltre, effettuando il confronto degli impatti ambientali relativi a ciascun componente dei due sistemi ETICS analizzati, è possibile notare come, per la categoria di impatto ambientale relativa a GWP, AP e ADP-Fossil, l'isolante EPS risulta meno impattante della lana minerale rispettivamente di 13, 10 e 8 punti percentuali mentre per la categoria POCP l'EPS risulta più impattante di circa 15 punti percentuali.

COSTI					RISULTATI										
Componente	Materiale [lm2]	Installazione [manodopera lm2]	Nolo ponteggi/attrezzature [lm2 mese]	Rimozione [lm2]	FASE				Impatto percentuale componenti sistema ETICS con isolante di spessore pari a cm 10.2						
					CATEGORIE DI IMPATTO	PRODUZIONE A1- A3	TRASPORTO A4	INSTALLAZIONE A5	SMALTIMENTO C4	Componenti	GWP [kg CO2eq]	AP [kg SO2eq]	POCP [kg Ethene eq]	ADP-fossil [MJ]	
Collante polvere	4.62				GWP [kg CO2eq]	1.18E-01	2.52E-02	3.68E-02	1.33E-01	Collante polvere	13.04%	2.63%	1.61%	6.07%	
Isolante	14.74				AP [kg SO2eq]	4.19E-02	7.88E-05	1.45E-04	1.75E-04	Isolante	46.92%	33.66%	91.34%	62.72%	
Rasante polvere	7.23				POCP [kg Ethene eq]	3.48E-03	3.17E-06	6.63E-06	2.28E-05	Rasante polvere	15.73%	3.58%	2.52%	7.02%	
Rete fibra vetro	2.23	48.54	2.5	15.2	ADP-fossil [MJ]	2.17E+02	3.75E-01	4.84E-01	2.44E-01	Rete fibra vetro	4.35%	5.27%	0.81%	3.98%	
Primer	2.68				FATTORI DI MONETIZZAZIONE				Primer	1.35%	6.11%	0.40%	1.68%		
Finitura vinilacrilica trasparente	8.40				CATEGORIE DI IMPATTO	ECOTAX02	STEPWISE06	ECOVALE08	ENVIRONMENTAL PRICES	Finitura	13.45%	43.49%	2.92%	14.14%	
Tasselli	-				GWP [kg CO2eq]	1.08E+00	1.02E+00	3.07E+00	6.95E-01	Tasselli	5.17%	5.27%	0.40%	4.40%	
PARZIALE [lm2]					40.0	48.5	2.5	15.2							
TOT [lm2]					77.1										
VITA UTILE DEL SISTEMA ETICS					36 anni										
					Costo totale [€/m2]				85.03	79.36	80.36	77.97			
					Indicatore [€/m2K/W]				28.34	26.45	26.79	25.99			

a)

COSTI					RISULTATI										
Componente	Materiale [lm2]	Installazione [manodopera lm2]	Nolo ponteggi/attrezzature [lm2 mese]	Rimozione [lm2]	FASE				Impatto percentuale componenti sistema ETICS con isolante di spessore pari a cm 10.5						
					CATEGORIE DI IMPATTO	PRODUZIONE A1- A3	TRASPORTO A4	INSTALLAZIONE A5	SMALTIMENTO C4	Componenti	GWP [kg CO2eq]	AP [kg SO2eq]	POCP [kg Ethene eq]	ADP-fossil [MJ]	
Collante polvere	5.88				GWP [kg CO2eq]	2.78E+01	1.39E-01	3.68E-02	5.15E-03	Collante polvere	11.56%	2.84%	4.88%	4.86%	
Isolante	21.70				AP [kg SO2eq]	1.12E-01	4.33E-04	1.45E-04	4.40E-05	Isolante	60.01%	43.19%	76.73%	71.13%	
Rasante polvere	8.91				POCP [kg Ethene eq]	1.33E-02	1.74E-05	6.63E-06	1.53E-06	Rasante polvere	10.60%	2.84%	6.51%	5.83%	
Rete fibra vetro	2.23	40.02	2.5	15.2	ADP-fossil [MJ]	2.93E+02	2.06E+00	4.84E-01	1.45E-01	Rete fibra vetro	2.89%	3.79%	0.81%	2.92%	
Primer	2.68				FATTORI DI MONETIZZAZIONE				Primer	0.29%	4.73%	0.41%	0.29%		
Finitura vinilacrilica trasparente	8.40				CATEGORIE DI IMPATTO	ECOTAX02	STEPWISE06	ECOVALE08	ENVIRONMENTAL PRICES	Finitura	10.60%	37.87%	8.95%	11.66%	
Tasselli	-				GWP [kg CO2eq]	2.52E+00	2.88E+00	6.93E+00	1.61E+00	Tasselli	4.05%	4.73%	1.71%	3.30%	
PARZIALE [lm2]					43.9	40.0	2.5	15.2							
TOT [lm2]					79.4										
VITA UTILE DEL SISTEMA ETICS					36 anni										
					Costo totale [€/m2]				92.04	83.67	87.01	81.56			
					Indicatore [€/m2K/W]				30.68	27.89	29.00	27.19			

b)

Figura 9: Confronto risultati tra ETICS con EPS a) e MW b)

L'analisi complessiva dei risultati ottenuti nell'esempio precedente mostra innanzitutto che le esternalità ambientali, associate al ciclo di vita dei sistemi ETICS, hanno, dal punto di vista economico, un peso piuttosto limitato rispetto ai costi diretti (inferiore al 10% per tutti i metodi di monetizzazione utilizzati). Ciò significa che, soprattutto nell'ottica di un impiego del tool da parte delle Pubbliche Amministrazioni per la scelta del prodotto economicamente ed ambientalmente più vantaggioso, potrebbero essere valutate in futuro altre metodiche per integrare gli aspetti economici con quelli ambientali, quali ad esempio i metodi multicriteriali. Per quanto concerne più strettamente gli impatti ambientali associati al ciclo di vita dei sistemi ETICS, appare chiaro come, per tutte le categorie di impatto prese in esame, la fase di produzione rappresenti il contributo più rilevante e, in particolare, il materiale isolante e la finitura siano i componenti a cui è associato l'impatto ambientale più rilevante. Questo risultato è importante anche per le aziende, in quanto, al fine di incrementare la sostenibilità ambientale associata al proprio sistema ETICS, in via prioritaria dovrebbero cercare di puntare l'attenzione sulla definizione di processi meno impattanti per la produzione di questi due componenti (ad esempio riducendo il consumo di risorse fossili oppure incrementando l'efficienza del processo produttivo); come si può evincere dall'analisi LCC, ciò garantirebbe anche un abbattimento dei costi associati al sistema ETICS commercializzato.

6. Best practices nei processi di produzione dei materiali

Le attività previste dal capitolato per la LA 2.14 includevano la proposta di identificazione di best practices per i processi di produzione dei materiali. Indubbiamente l'ottimizzazione della filiera, nelle aspettative del consorzio all'inizio del progetto, sarebbe passata anche attraverso il miglioramento dei singoli processi produttivi dei vari materiali e componenti che fanno parte delle soluzioni standardizzate, in aggiunta al miglioramento della supply chain nel suo insieme.

Cinque elementi sono inclusi in questa area tematica, vale a dire:

- miglioramento continuo
- Lean Thinking
- Off Site Manufacturing
- Just-In-Time
- Sostenibilità

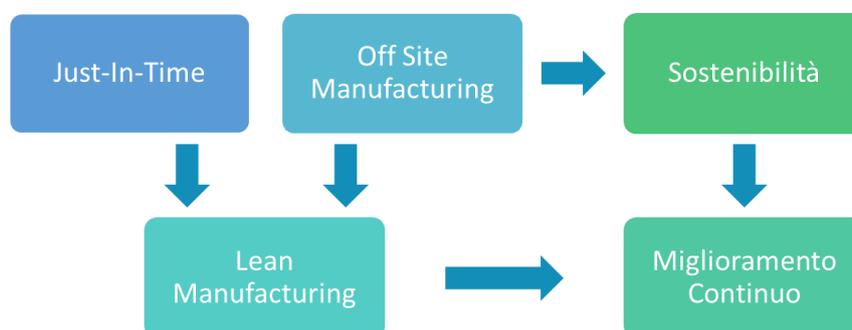


Figura 10. Elementi chiave per la filosofia

Il **miglioramento continuo** si riferisce alla pianificazione sistematica continua e allo sviluppo dei processi per ottenere un miglioramento delle prestazioni a lungo termine, pertanto, richiede uno sforzo congiunto degli stakeholder che mirano a ottenere il miglior valore attraverso relazioni a lungo termine.

Le misurazioni delle prestazioni sono un importante fattore abilitante del miglioramento continuo, consentendo di fissare alcuni obiettivi chiari. Confrontando le proprie prestazioni con gli obiettivi predefiniti, le organizzazioni possono apprendere e migliorare continuamente i propri processi, individuando le aree da migliorare e non aggiungendo valore alle opere che possono essere eliminate.

In questa direzione, il **Lean Thinking (LT)**, un approccio gestionale influenzato dal sistema produttivo Toyota e ampiamente riconosciuto in molti diversi contesti industriali per migliorare le prestazioni della SC, è stato gradualmente adottato dal settore edile. Secondo il Lean Enterprise Institute [119], il suo obiettivo principale è massimizzare il valore per il cliente riducendo al minimo gli sprechi, considerando lo spreco come qualsiasi sforzo che non aggiunge valore al prodotto finale dal punto di vista del cliente. Con il termine sprechi, ci si riferisce non solo ai rifiuti legati ai materiali, ma anche alla forza lavoro, al tempo e alle attrezzature (ad esempio ritardi di inizio attività, rilavorazione, lungo processo di approvazione, etc.). In particolare, nel settore edile i principi fondamentali del LT includono la riduzione dei rifiuti, l'attenzione ai processi nella pianificazione e nel controllo della produzione, l'attenzione al cliente finale, il miglioramento continuo, le relazioni di cooperazione e la prospettiva dei sistemi ETICS. Nello specifico se il LT viene integrato in una SC in cui vi è collaborazione tra gli stakeholder, le opportunità di ridurre al minimo gli sprechi e massimizzare il valore sono molto maggiori.

Sia la **Off Site Manufacturing (OSM)** che quella **Just-In-Time (JIT)** sono considerate pratiche centrali per la riduzione degli sprechi nel pensiero snello. OSM si riferisce a sistemi di produzione in cui componenti, elementi o unità di costruzione standardizzati sono prefabbricati in ambienti di produzione in fabbrica prima di essere spediti per la successiva installazione in loco. Spostando tradizionalmente le operazioni in loco in aree in condizioni controllate, l'OSM può portare a vantaggi significativi come la riduzione dei tempi di costruzione, una qualità costante, prestazioni di sicurezza più elevate, miglioramenti nella costruibilità e una diminuzione dell'impatto ambientale. Tuttavia, lo spostamento delle attività in località remote richiede anche un livello più elevato di integrazione tra i partner, come la produzione, il trasporto, la gestione dell'inventario e le sequenze di assemblaggio, che devono essere attentamente coordinate. A questo proposito, il JIT è una strategia di fornitura che prevede consegne minori ma più frequenti in cantiere. Il suo obiettivo è sincronizzare la consegna dei materiali con l'assemblaggio per ridurre al minimo i buffer di materiale. In questo modo, il JIT contribuisce ad eliminare gli sprechi causati da sovrapproduzione, tempi di attesa, trasporto, scorte e seconda movimentazione dei materiali, generando effetti positivi sia per i fornitori che per gli appaltatori.

Infine, la **sostenibilità**, nella sua triplice accezione (economica, ambientale e sociale), è una questione sempre più importante per l'industria delle costruzioni. Le politiche ambientali e le preoccupazioni dei clienti stanno stimolando l'intera SC edile ad adottare pratiche di sostenibilità per ridurre al minimo le conseguenze negative delle attività sugli ambienti massimizzando il contributo all'economia e alla società. Le pratiche di sostenibilità possono essere distinte tra pratiche di base e pratiche di supporto. Le pratiche di base coprono le fasi principali della SC edile, inclusi progettazione, acquisti, trasporto, costruzione e gestione del fine vita. Queste pratiche implicano considerazioni quali lo sviluppo di materiali da costruzione a basso impatto ambientale, l'uso prudente delle risorse naturali, l'adozione della OSM, la pianificazione della gestione dei rifiuti e la logistica inversa. Le pratiche di supporto, che sostengono le pratiche di base, consistono in sistemi di gestione ambientale e certificazioni, formazione ambientale, audit ambientale e ricerca e sviluppo green. La sostenibilità, se applicata, apporta benefici all'ambiente, genera risparmi sui costi e migliora le prestazioni organizzative, come un aumento dei ricavi di vendita e della quota di mercato. A tal fine, un orientamento strategico verso la sostenibilità da parte di un'azienda non è sufficiente perché quell'azienda sia completamente sostenibile, ma è necessario uno sforzo globale. Infatti, la sostenibilità non è una questione di singola azienda, ma di filiera. La collaborazione tra i partner della filiera e lungo le fasi di costruzione è necessaria per raggiungere un comportamento pienamente sostenibile.

A livello applicativo, le interviste somministrate alle aziende hanno permesso di delineare un profilo del livello di applicazione delle tematiche riguardanti la filosofia adottata. I risultati sono riportati in Figura 11.

FILOSOFIA DI PRODUZIONE	Miglioramento Continuo	Lean Thinking	OSM/JIT	Sostenibilità
Sulpol	In fase di applicazione	Non applicato	Non applicato	Applicato
Mapei	In fase di applicazione	Applicato	Applicato	Applicato
Celenit	In fase di applicazione	Non applicato	Applicato	Applicato
Friulsider	Applicato	In fase di applicazione	Applicato	Applicato

Legenda:
■ Applicato
■ In fase di applicazione
■ Non applicato

Figura 11. Livello di applicazione della best practice “Filosofia di produzione”

Le analisi effettuate durante le attività della LA2.8 per quello che riguarda i processi “as-is” hanno tuttavia portato a notare come, nella realtà delle cose, sarebbe poco opportuno concentrare gli sforzi sui processi produttivi all’interno delle singole aziende. Questo perché, basandosi sull’analisi delle aziende studiate e intervistate, si è potuto verificare che i processi produttivi, essendo essi di fatto il core business di ciascuna azienda, sono già essi stessi fortemente ottimizzati e presentano opportunità di miglioramento di molto inferiori a quanto non si possa invece ottenere andando ad intervenire sulla supply chain nel suo insieme, e quindi nella gestione dell’interconnessione tra le diverse aziende della filiera, e nella gestione dei processi a livello più alto.

In effetti, l’innovazione principale portata dall’applicazione dei principi della off-site construction (OSC) non sta nelle attività di produzione delle singole parti delle soluzioni, che in effetti sono già ora prodotte da grandi attori internazionali caratterizzati da alti livelli di efficienza, ma nella integrazione più profonda della supply chain e quindi nell’efficientamento delle connessioni tra i differenti attori del sistema. Come identificato da Kamali e Hewage¹, inoltre, le sfide più importanti oggi affrontate da chi si avvicina all’OSC non riguardano l’approvvigionamento dei materiali (la riduzione dei costi è in realtà riconosciuta come uno dei principali vantaggi del ricorso all’OSC), ma le difficoltà in termini di logistica (dimensioni dei moduli prefabbricati, difficoltà del trasporto sulle lunghe distanze, etc.) e, soprattutto, di coordinazione e comunicazione tra i vari portatori di interesse della filiera. Si riporta, a questo proposito, il riassunto dei risultati dell’analisi effettuata da Kamali e Hewage in Figura 12.

¹ Kamali, Mohammad, and Kasun Hewage. "Life cycle performance of modular buildings: A critical review." *Renewable and sustainable energy reviews* 62 (2016): 1171-1183.

	Parameters	Description
Advantages	Time	<ul style="list-style-type: none"> - Simultaneous construction work and site preparation - No work disruption due to weather extremes - Less vandalism and site theft due to a shorter schedule
	Cost	<ul style="list-style-type: none"> - Labor transportation reduction - Machinery transportation reduction - Ordering bulk materials and receiving volume discounts - Saving due to on-site labor reduction - Less site overhead and congestion - Reduced interest charges due to fast construction - Avoidance of costly delays due to weather or site severe conditions - Distribution of overheads, admins, and technician costs over quantity production
	On-site safety	<ul style="list-style-type: none"> - Reduction in elevated work and dangerous activities - Reduction in on-site workforce congestion - Less workforce exposure to neighboring construction operations - Less workforce exposure to severe weather - Less working time on-site
	Product quality	<ul style="list-style-type: none"> - Controlled manufacturing facilities - Highly engineered fabrication - Repetitive processes and operations - Automated machinery - Specialized skilled workforce - Using high quality materials to withstand transportation - Less material exposure to harsh weather on-site
	Workmanship and productivity	<ul style="list-style-type: none"> - Less skilled workforce requirement - Highly organized operations - Better supervision - Less time intervals - Workforce stability
	Environmental Performance	<ul style="list-style-type: none"> - Waste generation reduction - Potential for waste management - Less disturbance on-site such as noise and dust - Efficient land resources use - Reduction in GHG emissions
	Disadvantages	Project planning
Transportation Restraints		<ul style="list-style-type: none"> - Modules' dimensional constraints - Hard to transport modules far away - Time delays due to late transit permits for oversized components - Customs delays in borders when transporting internationally
Negative perception		<ul style="list-style-type: none"> - Negative perception of new construction methods
Site constraints		<ul style="list-style-type: none"> - Availability of cheap labor in the area - Availability of knowledgeable experts such as engineers and designers in the area
Coordination and communication		<ul style="list-style-type: none"> - Need for an increased and more detailed coordination in all stages of a project - More communication among all stakeholders
Initial cost		<ul style="list-style-type: none"> - Need for large initial investment to run modular services

Figura 12: Vantaggi e svantaggi dell'Off-Site Construction. Risultati riproposti da Kamali and Hewage (2016)

Per questa ragione, si è deciso di concentrare le risorse e gli sforzi sull'individuazione di best practices nelle fasi di distribuzione, e più in generale nelle best practices relative al miglioramento dell'interconnessione tra le varie parti del sistema, che sono trattate in maniera estensiva sia nel report delle attività della LA 2.8 che in quello delle attività della LA 2.9.

7. Conclusioni

In linea con gli obiettivi di progetto e gli output dichiarati in sede di progettazione si è realizzato uno studio volto ad esaminare le performance economico-ambientali di almeno due soluzioni tra quelle disponibili per l'isolamento a cappotto di facciate. Le soluzioni scelte sono state relative agli isolanti, EPS e lana minerale. L'output dell'attività WP2-LA2.14 risulta essere un utile strumento di valutazione a supporto delle scelte decisionali nelle diverse fasi del processo edilizio. In particolare, lo strumento può essere utilizzato sia dalle

aziende che forniscono i sistemi ETICS per avere una stima preliminare degli impatti ambientali associati al proprio prodotto, individuando quali sono le fasi del ciclo di vita che possono essere migliorate da un punto di vista ambientale, sia dalle pubbliche amministrazioni in fase di predisposizione di bandi di gara per la riqualificazione energetica degli edifici, in quanto permetterà di individuare la soluzione ambientalmente ed economicamente più vantaggiosa. Inoltre, l'analisi delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) attualmente pubblicate a livello Europeo ha consentito di determinare, per le due soluzioni analizzate, un benchmark ambientale di riferimento basato su quattro categorie di impatto (GWP, AP, POCP, ADP-Fossil) che potrebbe essere utilizzato dalle Pubbliche Amministrazioni per definire dei requisiti ambientali minimi da richiedere all'interno dei bandi di gara.