

Ricerca di Sistema elettrico



**“Studio stato dell’arte di soluzioni prefabbricate per
sistemi di copertura e creazione catalogo best
practices”**

F. Cumo, R. Marzo, E. Pennacchia, C. Zylka

CENTRO DI RICERCA
INTERDISCIPLINARE TERRITORIO
EDILIZIA RESTAURO AMBIENTE CITERA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

STUDIO STATO DELL'ARTE DI SOLUZIONI PREFABBRICATE PER SISTEMI DI COPERTURA E CREAZIONE CATALOGO BEST PRACTICES

F. Cumo (CITERA), R. Marzo (CITERA), E. Pennacchia (CITERA), C. Zylka (DIAEE)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.5 *"Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica"*

Linea di attività: 2.15

Responsabile del Progetto: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Centro di Ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente - CITERA

Mese inizio previsto: Gennaio 2022

Mese inizio effettivo: Gennaio 2022

Mese fine previsto: Giugno 2023

Mese fine effettivo: Giugno 2023

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio stato dell'arte di soluzioni prefabbricate per sistemi di copertura e creazione catalogo best practices Sviluppo del tool e di strumenti di supporto agli interventi di efficientamento energetico di edifici residenziali oggetto di riqualificazione"

Responsabile scientifico ENEA: Carlo, Romeo

Responsabile scientifico Co-beneficiario: Elisa, Pennacchia

Indice

1	RISULTATI ATTESI	2
2	RISULTATI OTTENUTI.....	3
3	PRODOTTI ATTESI.....	4
4	PRODOTTI SVILUPPATI	5
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	6
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	7
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	8
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	18
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	19
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	20

1 Risultati attesi

- Analisi dello stato dell'arte delle principali tipologie di chiusura orizzontale superiore piane ed inclinate che contraddistinguono il patrimonio edilizio residenziale nazionale e che presumibilmente potrebbero essere oggetto di interventi di riqualificazione energetica;
- abaco di componenti tecnologici prefabbricati in grado di rispondere alle diverse esigenze climatiche, geometrico/dimensionali e tecnico/prestazionali che si possono riscontrare nella realtà costruttiva abitativa italiana;
- redazione di un rapporto tecnico sui risultati complessivi degli studi svolti;
- schede prestazionali contenenti le proprietà termofisiche dei componenti edilizi delle chiusure orizzontali nella configurazione esistente e delle proposte di isolamento termico individuate;

2 Risultati ottenuti

- Classificazione delle tipologie di chiusura orizzontali superiori che contraddistinguono il patrimonio edilizio residenziale nazionale per ogni classe di epoca di costruzione, finalizzata all'individuazione degli interventi standardizzati di riqualificazione sostenibile basati su elevati livelli di prefabbricazione, e sviluppo di un abaco delle tipologie più diffuse (30 chiusure orizzontali superiori – COS). Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti: La definizione dei componenti opachi dell'involucro maggiormente utilizzati negli edifici residenziali esistenti permette di fornire una valutazione energetica di riferimento impiegabile in assenza di informazioni più dettagliate sui materiali che compongono la struttura da efficientare;
- identificazione di parametri prestazionali per la comparazione dei materiali isolanti adatti alla coibentazione delle chiusure superiori, presenti sul mercato, finalizzata all'individuazione di quelli più performanti, anche in base alle indicazioni fornite dai Criteri Ambientali Minimi (CAM) e ad indicatori di costo.
Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti: la promozione dell'impiego delle migliori soluzioni sotto il profilo ambientale e prestazionale, tenuto conto della disponibilità di mercato;
- sviluppo di un abaco delle 21 soluzioni di isolamento per lo più prefabbricate selezionate sulla base dei parametri di comparazione (indicatori di performance, di impatto ambientale, di impiego e il costo) e attraverso le simulazioni energetiche effettuate tramite software energetico BIM certificato per la definizione degli spessori del materiale coibente;
- sviluppo di una “matrice” degli edifici, a prevalente uso residenziale, che sintetizza i risultati emersi dal preliminare studio dello stato dell'arte (718 configurazioni) a cui sono state associate le soluzioni di efficientamento energetico applicabili. La matrice prodotta è un sistema aperto implementabile a seguito dell'evoluzione di nuovi componenti e sistemi.
Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti: attraverso la matrice il progettista può individuare facilmente la casistica che corrisponde meglio al caso specifico da efficientare, in base alla classe di epoca di costruzione, alla tipologia edilizia e costruttiva, alla zona climatica e le soluzioni tecnologiche più efficaci secondo i requisiti prestazionali da rispettare sia in regime invernale sia in quello estivo;
- elaborazione di schede prestazionali delle soluzioni di isolamento selezionate applicate a ogni tipologia di chiusura orizzontale superiore definita nell'abaco.
Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti: Ciò consente di effettuare un confronto dei parametri prestazionali ottenibili tramite l'applicazione delle soluzioni individuate, sulla medesima tipologia di chiusura orizzontale superiore su cui sono installabili, per un'immediata individuazione del sistema più performante dal punto di vista prestazionale in base alla zona climatica
- Sviluppo di dashboard (non previste da capitolato) che riportano per ogni chiusura orizzontale superiore la descrizione ante operam, il numero e la tipologia delle soluzioni applicabili, il numero minimo di soluzioni applicabili nelle diverse zone climatiche in base agli esiti delle simulazioni energetiche, il numero di soluzioni per tipologia di isolamento (IE=soluzioni di isolamento all'estradosso non ventilate o microventilate, IEV= soluzioni di isolamento ventilate; II=soluzioni di isolamento all'intradosso), il numero minimo di soluzioni per tipologia di isolamento applicabili per ogni zona climatica, la classificazione delle soluzioni per tipologia di isolamento in base al costo al m². Beneficio per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti: tale strumento offre un'analisi immediata per ciascuna tipologia di copertura delle soluzioni più performanti e per lo più prefabbricate precalcolate applicabili confrontabili anche dal punto di vista economico.

3 Prodotti attesi

Non sono previsti prodotti hardware/software nella presente linea di attività.

4 Prodotti sviluppati

Non sono previsti prodotti hardware/software nella presente linea di attività.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si sono verificati scostamenti tecnici/economici rispetto al preventivo

6 Sintesi delle attività svolte

È stato sviluppato un abaco delle tipologie di copertura più diffuse (30 COS) che riporta stratigrafie e relativi valori di trasmittanza termica periodica e stazionaria. Partendo dalla selezione proposta nell'abaco e dalle possibili configurazioni edilizie che si possono trovare all'interno del patrimonio nazionale è stata costruita una "matrice" degli edifici a prevalente uso residenziale, che sintetizza i risultati emersi (718 configurazioni). È stato svolto uno studio dei materiali isolanti e delle soluzioni di coibentazione che ha permesso di identificare 13 soluzioni non ventilate e 4 ventilate applicabili all'estradosso e 4 applicabili all'intradosso per lo più prefabbricate. È stato elaborato un abaco per le 21 soluzioni di isolamento proposte. Sono state svolte più di 7000 simulazioni energetiche per definire le soluzioni e i relativi spessori del materiale coibente applicabili a ogni COS. Sono state elaborate schede prestazionali che riassumono gli esiti delle simulazioni.

7 Dettaglio delle attività svolte

L'obiettivo di tutta l'attività di ricerca riguarda il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio residenziale nazionale finalizzato a realizzare edifici ad alta efficienza per la transizione energetica prevista dalla normativa vigente, attraverso la redazione di un catalogo di configurazioni costruttive standard per definire sistemi di riqualificazione da applicare sulle chiusure superiori.

L'approccio metodologico che ha guidato la presente linea di attività è stato sintetizzato nella seguente Figura 1.

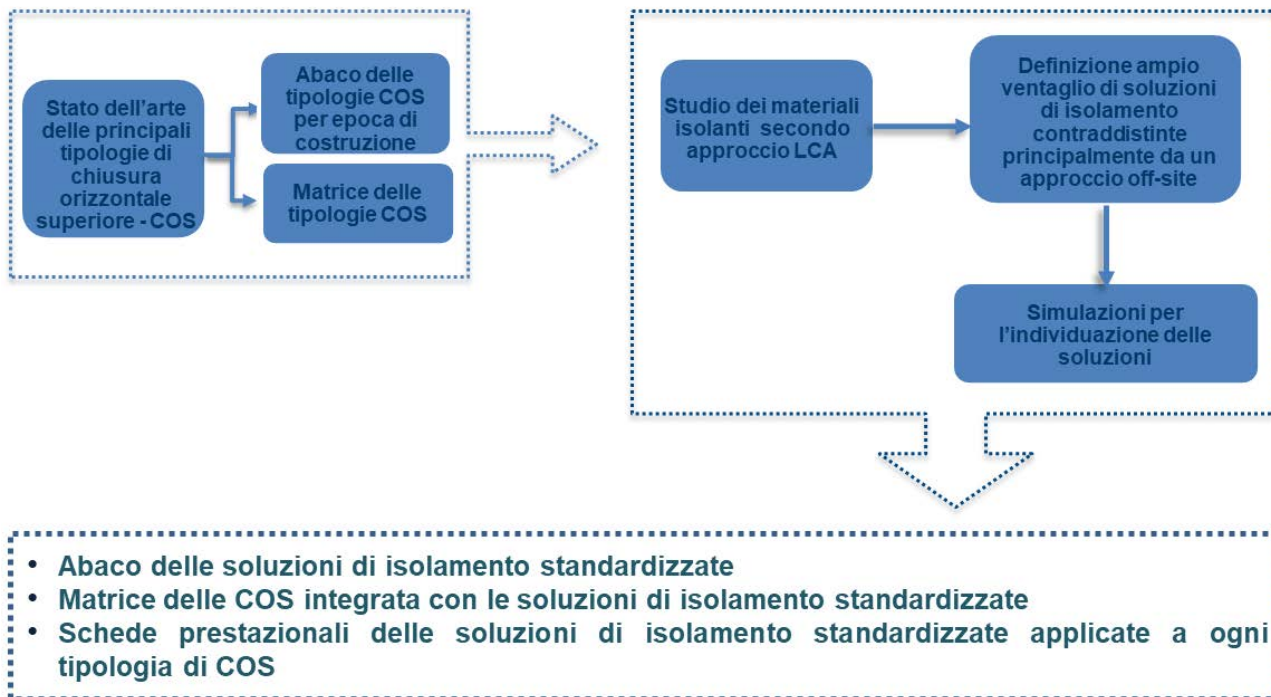
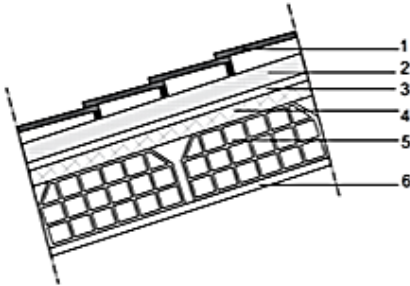
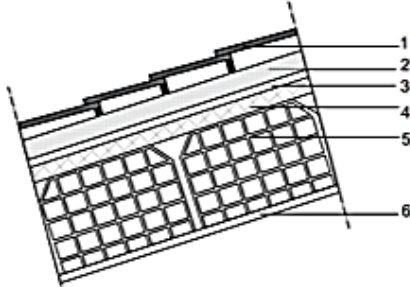
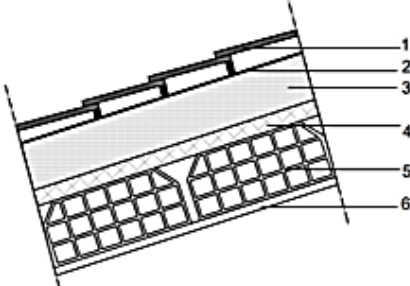


Figura 1 Schema metodologico della ricerca

La prima attività svolta ha riguardato l'individuazione e lo studio delle chiusure orizzontali più diffuse nel variegato patrimonio edilizio residenziale nazionale e sulla successiva classificazione per epoca di costruzione. Sono state selezionate le tipologie di coperture più diffuse ed è stato progettato e sviluppato un abaco delle tipologie di chiusura superiore più diffuse (30) che ne descrive le stratigrafie e i relativi valori di trasmittanza termica periodica e stazionaria (estratto: Tabella 1).

Tabella 1 Estratto dell'abaco delle chiusure orizzontali superiori esistenti

<p>COS.07</p> 	<p>Copertura a falde in laterizio, medio livello di isolamento</p> <p>Utilizzato dal 1991 al 2005</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coppi/elemento di tenuta all'acqua: 1,5 cm 2. Strato isolante: 5 cm 3. Malta di cemento: 2 cm 4. Calcestruzzo armato: 4 cm 5. Solaio latero-cementizio/elemento portante: 16 cm 6. Intonaco interno: 2 cm <p>U= 0,60 W/m²K YIE= 0,11 W/m²K</p>
<p>COS.07.1</p> 	<p>Copertura a falde in laterizio, medio livello di isolamento</p> <p>Utilizzato dal 1991 al 2005</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coppi/elemento di tenuta all'acqua: 1,5 cm 2. Strato isolante: 5 cm 3. Malta di cemento: 2 cm 4. Calcestruzzo armato: 4 cm 5. Solaio latero-cementizio/elemento portante: 24 cm 6. Intonaco interno: 2 cm <p>U= 0,59 W/m²K YIE= 0,08 W/m²K</p>
<p>COS.08</p> 	<p>Copertura a falde in laterizio, alto livello di isolamento</p> <p>Utilizzato dal 2006</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coppi/elemento di tenuta all'acqua 2. Guaina bituminosa: 0,4 cm 3. Strato isolante: 12 cm 4. Calcestruzzo armato: 4 cm 5. Solaio latero-cementizio/elemento portante: 16 cm 6. Intonaco interno: 2 cm <p>U= 0,31 W/m²K YIE= 0,05 W/m²K</p>

Partendo dalla selezione proposta nell'abaco e dalle possibili configurazioni edilizie che si possono trovare all'interno del patrimonio nazionale, è stata costruita una "matrice" degli edifici, a prevalente uso residenziale (718 configurazioni).

La matrice è stata costruita come uno strumento utile per individuare la soluzione di riqualificazione più adeguata ad una determinata tipologia di chiusura orizzontale superiore che caratterizza l'edificio oggetto di intervento di riqualificazione energetica.

Le righe che compongono la matrice rappresentano le possibili tipologie di chiusura orizzontale superiore, articolate in funzione della classe di epoca di costruzione, della tipologia edilizia e della tipologia costruttiva di maggiore diffusione. La sequenza delle diverse tipologie di chiusura segue in ordine cronologico l'evoluzione delle tecniche costruttive. Una volta individuato il periodo di costruzione dell'edificio oggetto dell'intervento di isolamento, incrociandolo con la tipologia edilizia e costruttiva, vengono indicate le tipologie di chiusura esistenti dell'involucro edilizio opaco.

Si riporta in Figura 2 un estratto della matrice già integrata con la colonna relativa al link per accedere alle soluzioni di isolamento applicabili sulla specifica chiusura orizzontale superiore.

MATRICE PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE NAZIONALE																																	
ID	Classe di epoca di costruzione	Tipologia edilizia						Tipologia costruttiva				Caratteristiche dell'involucro edilizio					Caratteristiche Chiusure Orizzontali Superiori Ante operam					Soluzioni di isolamento											
		Edifici isolati	Edifici plurifamiliari					Muratura portante	A telaio	Chiusure orizzontali superiori	Chiusure verticali	Chiusure orizzontali inferiori	Spessore (cm)	Trasmittanza U = W/m2K	Continua	Discontinua	Geometrica	Accessibilità															
		1. Fino al 1900	2. Dal 1901 al 1909	3. dal 1910 al 1945	4. Dal 1946 al 1960	5. Dal 1961 al 1975	6. Dal 1976 al 1990	7. Dal 1991 al 2005	8. Dopo il 2005	Unifamiliari	Bifamiliari	In linea	A torre	A schiera	A ballatoio	A galleria	A blocco	Pietra	Pietra e laterizio	Laterizio	Cemento armato	Legno	Cemento armato	Chiusure orizzontali superiori - Ante operam	Morfologica	Geometrica	Accessibilità			LINK SCHEDA SOLUZIONI			
1	x								x														4,5	2,56									SC_01
2	x								x														4,5	2,56									SC_01
3	x								x														4,5	2,56									SC_01

Figura 2. Estratto di alcune righe della matrice del patrimonio edilizio residenziale nazionale.

L'attività successiva ha riguardato l'identificazione di parametri per la comparazione dei materiali isolanti adatti alla coibentazione delle chiusure superiori, presenti sul mercato, finalizzata all'individuazione di quelli più performanti, anche in base alle indicazioni fornite dai Criteri Ambientali Minimi (CAM) e ad indicatori di costo. I parametri scelti sono stati pertanto non soltanto quelli relativi alle capacità di isolamento in regime invernale ed estivo, ma anche all'impatto ambientale, alla tipologia d'impiego e al costo (Figura 3).

Categorie di isolanti in base all'origine



- Isolanti organici naturali
- Isolanti organici sintetici
- Isolanti inorganici sintetici

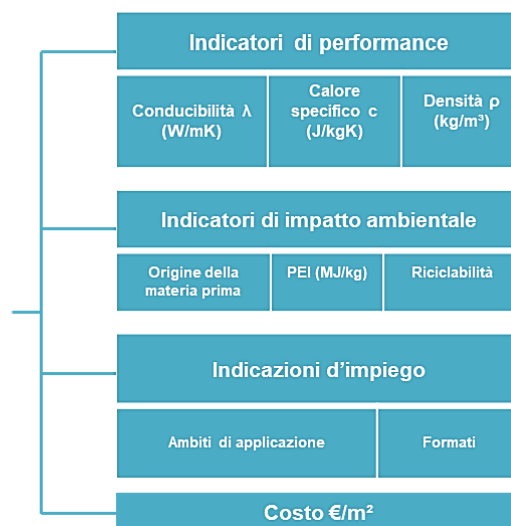


Figura 3. Parametri di confronto dei materiali isolanti

Per facilitare la comparazione tra i materiali coibenti sono stati definiti dei range per ciascun indicatore, sulla base dei valori prestazionali rappresentativi di tutti gli isolanti (Tabella 2).

Tabella 2. Range degli indicatori per confronto materiali isolanti

INDICATORI MATERIALI ISOLANTI				
	Conducibilità	Densità	Calore specifico	PEI
1	$\lambda \leq 0,015$	$\rho > 200$	$c \geq 2000$ J/kgK	$PEI \leq 10$
2	$0,015 < \lambda \leq 0,030$	$150 < \rho \leq 200$	$1700 \leq c < 2000$ J/kgK	$10 < PEI \leq 30$
3	$0,030 < \lambda \leq 0,040$	$50 < \rho \leq 150$	$1300 \leq c < 1700$ J/kgK	$30 < PEI \leq 60$
4	$0,040 < \lambda \leq 0,050$	$20 < \rho \leq 50$	$1000 \leq c < 1300$ J/kgK	$60 < PEI \leq 100$
5	$\lambda > 0,050$	$\rho \leq 20$	$c < 1000$ J/kgK	$PEI > 100$

Al centro dei *radar* è stato attribuito il valore più alto, i raggi diminuiscono di valore verso l'esterno con una scala da 5 a 1, dove a uno corrisponde la prestazione migliore: più ci si allontana dal centro, più la prestazione è rilevante, in senso positivo. Ogni isolante è rappresentato da un tracciato colorato che permette di valutare somiglianze e differenze prestazionali; più l'area delimitata dal tracciato è grande migliore è la prestazione del materiale coibente. Il confronto fra tracciati sullo stesso grafico ha permesso di valutare somiglianze e differenze fra gli elementi a cui si riferiscono i tracciati. Dai grafici di confronto è emerso con chiarezza che:

- tra gli isolanti organici naturali l'isolante in *fibra di legno* ha prestazioni migliori per la maggior parte degli indicatori, soprattutto in riferimento alla conducibilità termica (Figura 4);
- tra gli isolanti organici sintetici il *poliuretano espanso rigido* ha prestazioni migliori soprattutto in riferimento alla conducibilità termica (Figura 5);
- tra gli isolanti inorganici sintetici l'*aerogel* e la *lana di roccia* hanno prestazioni migliori soprattutto in riferimento alla conducibilità termica (Figura 6).

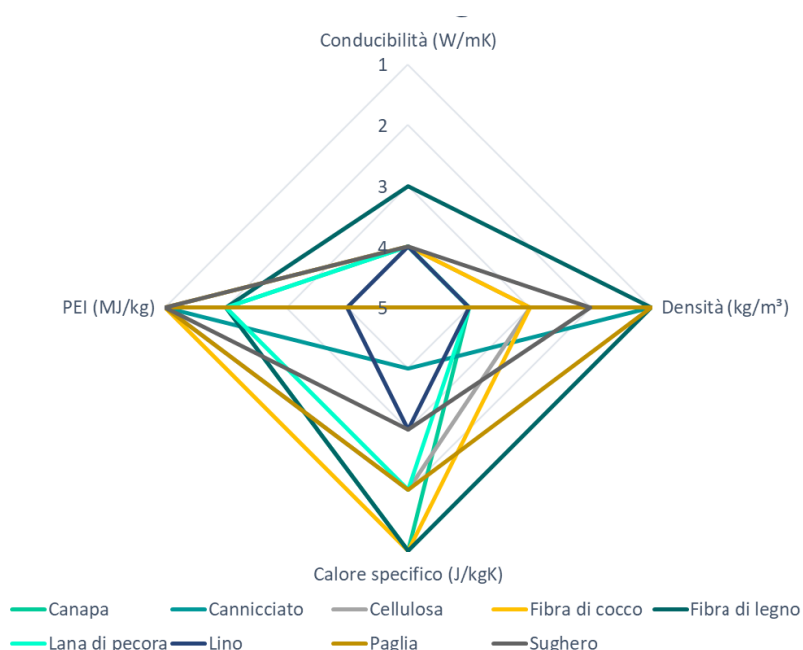


Figura 4 Confronto isolanti organici naturali

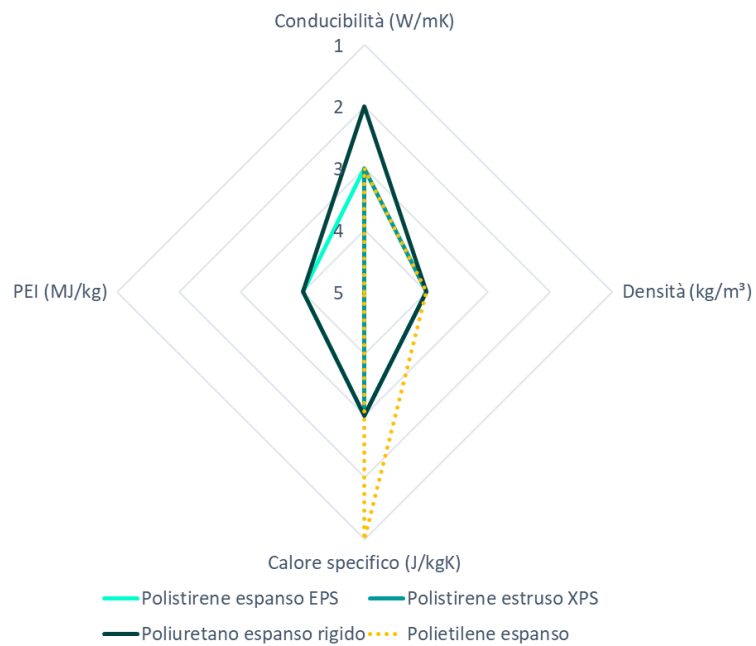


Figura 5 Confronto isolanti organici sintetici

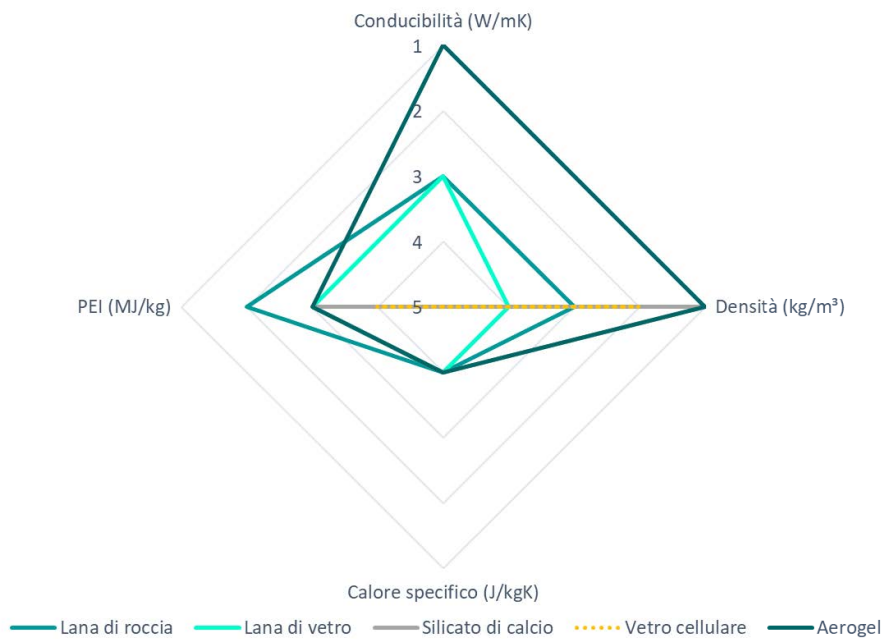


Figura 6 Confronto isolanti inorganici sintetici

Il grafico a quadranti (Figura 7) consente di confrontare l'impatto ambientale attraverso il PEI (sull'asse dell'ordinata) e la performance espressa attraverso il valore della conducibilità termica (sull'asse dell'ascissa), di tutti gli isolanti studiati più diffusi sul mercato.

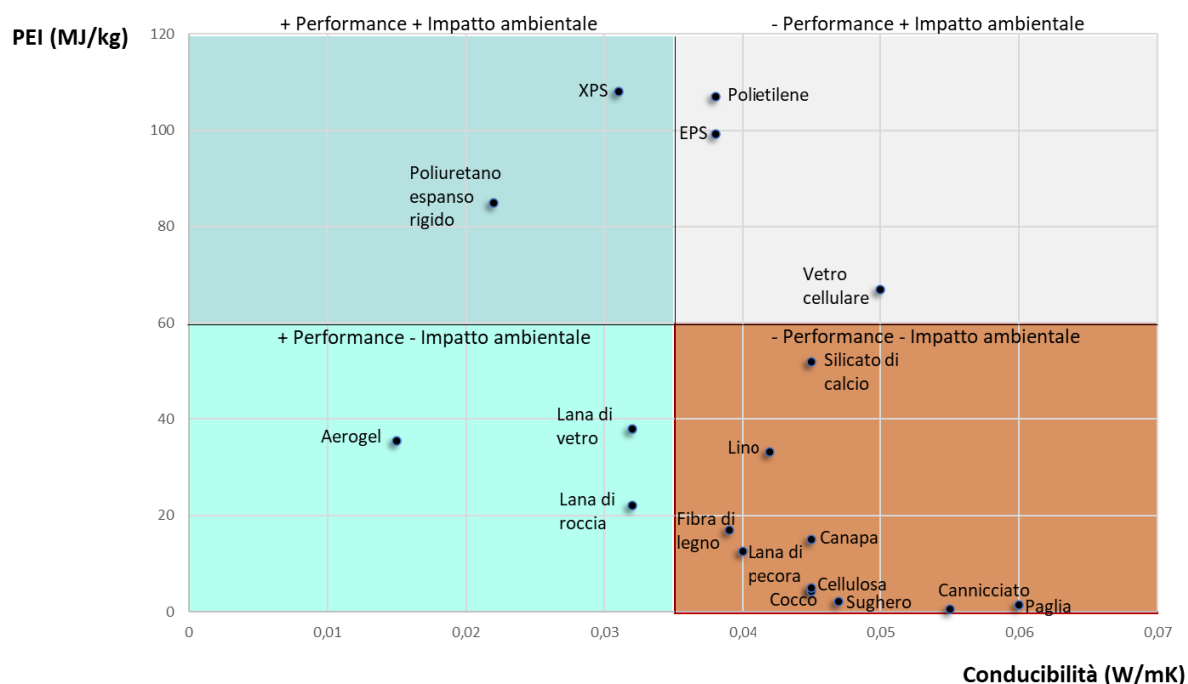


Figura 7 Confronto tra impatto ambientale e performance dei materiali isolanti

Il quadrante in basso a sinistra in verde è rappresentativo dei materiali coibenti caratterizzati da una bassa conducibilità termica e da un impatto ambientale minimo, quali lana di vetro, aerogel e lana di roccia.

Per individuare le soluzioni di isolamento per le chiusure superiori più diffuse a livello nazionale è stato svolto uno studio dei prodotti presenti sul mercato, in base ai parametri di confronto precedentemente descritti. Nell'ottica di promuovere la sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni e quindi minimizzare gli impatti in fase di cantiere riducendone i tempi di realizzazione degli interventi di riqualificazione, sono state valutate le modalità di posa di ciascuna soluzione, prediligendo sistemi costruttivi per lo più pre-assemblati.

Selezionando per lo più le soluzioni tecnologiche maggiormente prefabbricate sono state individuate 19 soluzioni.

I materiali coibenti più diffusi impiegabili per l'isolamento termico delle chiusure orizzontali sono: la schiuma di poli isocianurato espanso, l'EPS con grafite (Neopor), la fibra di legno, il sughero biondo, la schiuma poliuretana a celle chiuse, la lana di roccia, l'aerogel, la schiuma polysio rigida a celle chiuse. (Figura 8)

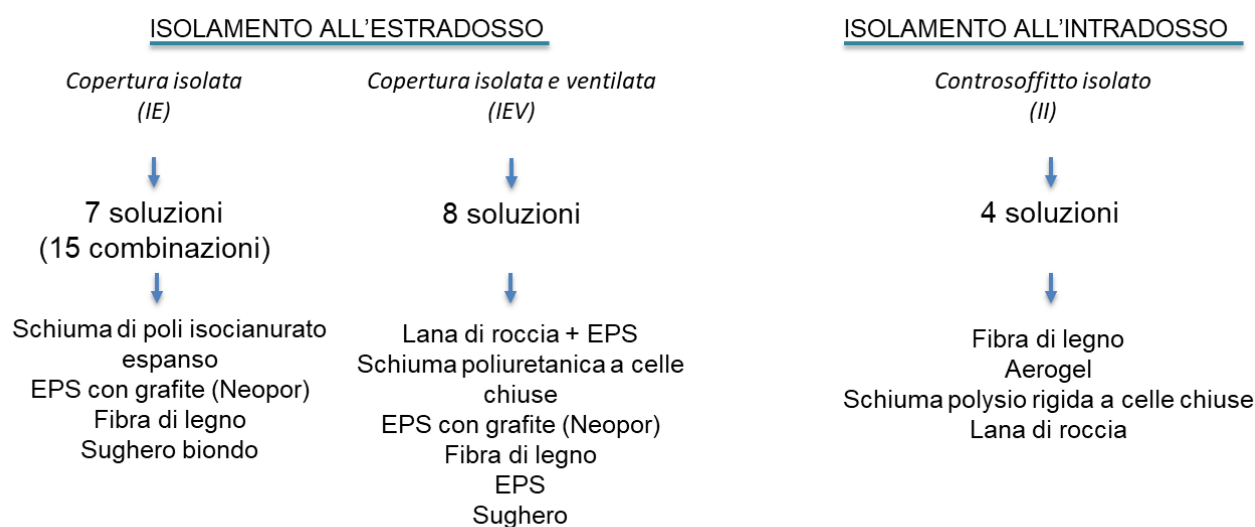


Figura 8 Soluzioni di isolamento presenti sul mercato

Le soluzioni individuate sono state studiate e confrontate sotto vari aspetti: prestazionali, ambientali ed economici.

A ciascuna soluzione individuata è stata associato un acronimo accompagnato da un numero progressivo:

- IE= isolamento all'estradosso;
- IEV= isolamento all'estradosso ventilato
- II= isolamento all'intradosso

Per ciascuna soluzione individuata è stata sviluppata una tabella riportante i valori di conducibilità, calore specifico, densità e spessore di ciascuno strato, le modalità di posa e il PEI come indicatore di impatto ambientale.

Per ciascuna tipologia di copertura sono stati definiti e stimati dal punto di vista economico degli interventi preliminari necessari per poter applicare le soluzioni di efficientamento energetico proposte e per confrontare e valutare ulteriormente l'applicabilità delle soluzioni proposte è stata svolta una stima analitica del costo di costruzione.

Per poter effettuare un confronto tra le varie soluzioni individuate al fine di identificare quelle più efficienti sono stati presi in considerazione i seguenti parametri (Tabella 3):

- al punto di vista prestazionale la conducibilità;
- dal punto di vista ambientale il PEI e la percentuale di prefabbricazione;
- dal punto di vista economico la fascia di costo e l'applicabilità sulle principali tipologie di copertura esistenti a livello nazionale.

Tabella 3 Parametri di confronto delle soluzioni di isolamento

Fascia di costo (€/m²)	≤ 100,00€	> 100,00€ e ≤200,00€	> 200,00€
Conducibilità (λ)	≤0,025	>0,025 e ≤0,040	>0,040
PEI (MJ/kg)	≤30	>30 e ≤60	>60
Prefabbricazione (%)	>70	>30 e ≤70	≤30
Applicabilità (n. di coperture)	>20	>10 e ≤20	≤10

Ciò ha permesso di selezionare quattro soluzioni per ciascuna tipologia di isolamento ad eccezione degli isolanti applicabili all'estradosso non ventilate o microventilate che prevedono 13 soluzioni.

Tra le soluzioni applicabili all'estradosso non ventilate o microventilate sottotegola (IE) sono state selezionate le seguenti:

- IE02 – PIR, contraddistinta da una bassa conducibilità, un buon livello di prefabbricazione e un'elevata applicabilità grazie alla possibilità di realizzare un isolamento sia per le coperture continue sia discontinue;
- IE03 – PUR, caratterizzata da una bassa conducibilità, un ottimo livello di prefabbricazione, un'ottima applicabilità per le coperture discontinue;
- IE05 – fibra di legno, contraddistinta da un valore PEI molto basso, un medio livello di prefabbricazione e un'ottima applicabilità su tutte le tipologie di chiusura orizzontale;
- IE06 – sughero, contraddistinta da un bassissimo valore PEI, un medio livello di prefabbricazione e un'ottima applicabilità su tutte le tipologie di chiusura orizzontale;

La codifica delle soluzioni scelte è stata rinumerata per semplificarne l'identificazione come segue: IE02 in IE01, IE03 in IE02, IE05 in IE03, IE06 in IE04.

Tra le soluzioni applicabili all'estradosso ventilate (IEV) sono state selezionate le seguenti:

- IEV01 – lana di roccia ed EPS, contraddistinta da una buona conducibilità e un medio livello di prefabbricazione;
- IEV02 – schiuma poliuretana rigida a celle chiuse, caratterizzata da ottime conducibilità e livello di prefabbricazione;
- IEV03 – neopor, contraddistinta da una buona conducibilità e un ottimo livello di prefabbricazione;
- IEV04 – fibra di legno, contraddistinta da un valore PEI molto basso e un medio livello di prefabbricazione.

Le soluzioni applicabili all'intradosso scelte sono state le seguenti:

- II01 – fibra di legno contraddistinta da un valore PEI molto basso;
- II02 – aerogel, caratterizzata da una bassa conducibilità;
- II03 – schiuma di polyiso rigida a celle chiuse, contraddistinta da una bassa conducibilità;
- II04 – lana di roccia, contraddistinta da un basso valore PEI.

A seguito della selezione delle soluzioni individuate è stato svolto uno studio ulteriore per verificarne la sostenibilità ambientale attraverso i nuovi criteri ambientali minimi 2022 che favoriscono inoltre l'adozione di metodologie di valutazione Life Cycle Assessment (LCA) per ottimizzare soluzioni progettuali più sostenibili per l'intero ciclo di vita, dalla produzione all'impiego, alla gestione e al riciclo o riuso a fine vita. Per ciascuna soluzione scelta è stato svolto un calcolo della percentuale di disassemblaggio a fine vita e del contenuto di materia riciclata ovvero recuperata ovvero di sottoprodotti.

Le soluzioni di isolamento selezionate sono state applicate alle tipologie di copertura presenti nell'Abaco delle Chiusure Orizzontali Superiori che contraddistinguono il patrimonio edilizio residenziale.

Per poter identificare lo spessore del materiale isolante di ciascuna soluzione tecnologica proposta sono state effettuate simulazioni impiegando un software energetico BIM certificato.

Ciò ha permesso di verificare i valori di trasmittanza periodica e stazionaria al fine di poter indicare le soluzioni applicabili per ciascuna copertura e zona climatica.

I valori limite di trasmittanza termica stazionaria sono stati desunti dal Decreto 6 agosto 2020, "Requisiti tecnici per l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici - cd. Ecobonus", (GU Serie Generale n.246 del 05-10-2020) allegato E. I valori di trasmittanza periodica, fattore di attenuazione, sfasamento termico, capacità termica areica interna periodica ottenuti con l'applicazione delle varie soluzioni di isolamento termico, sono stati confrontati con i valori limite previsti dal Decreto Requisiti minimi 26/06/2015 e dalla norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti.

Per verificare gli esiti delle simulazioni svolte e identificare le soluzioni e i relativi spessori applicabili per ciascuna copertura da inserire all'interno della matrice è stato realizzato un foglio di calcolo per ogni chiusura orizzontale. Il foglio di calcolo prevede le seguenti colonne:

- Indicazione della tipologia di copertura con la relativa codifica (COS e numero progressivo presente nell'abaco delle chiusure orizzontali superiori)
- Indicazione della tipologia di soluzione con la relativa codifica (IE – IEV – II e numero progressivo);
- Spessore della soluzione simulata espresso in millimetri;
- Valore di trasmittanza stazionaria raggiunto con l'applicazione della soluzione evidenziato in celeste per indicare che rispetta i valori limite previsti da normativa vigente, in giallo nel caso contrario e in bianco quando i valori previsti per le zone climatiche più rigide sono stati già soddisfatti dagli spessori precedenti e pertanto non sono stati tenuti in considerazione nella fase di elaborazione delle schede prestazionali;
- Valore di trasmittanza periodica raggiunto con l'applicazione della soluzione evidenziato in verde per indicare che rispetta i valori limite previsti da normativa vigente e in rosso nel caso contrario;
- Indicazione delle zone climatiche in cui è applicabile in base ai valori di trasmittanza raggiunti;
- La codifica della scheda prestazione data dall'unione del codice della copertura esistente e della soluzione applicata e simulata seguita da una lettera che le contraddistingue per lo spessore del materiale isolante;
- Costo della soluzione a m² (il colore della casella indica la fascia di costo a cui appartiene (verde se ≤100 €; ocra se > 100,00€ e ≤200,00€; rosso > 200,00€).

Le verifiche relative alle performance energetiche, alla sostenibilità ambientale e ai costi hanno permesso di sviluppare un abaco delle 12 soluzioni proposte.

Una volta individuate le soluzioni di isolamento descritte nell'abaco attraverso le simulazioni svolte sulle chiusure orizzontali superiori, che contraddistinguono maggiormente il patrimonio edilizio residenziale nazionale, è stato possibile elaborare le *Schede Prestazionali*.

Quest'ultime consentono un confronto dei parametri prestazionali ottenibili con l'applicazione delle soluzioni individuate, sulla medesima tipologia di chiusura orizzontale superiore su cui sono installabili. Le soluzioni proposte contribuiscono a limitare il fabbisogno energetico degli edifici esistenti, con riferimento ai consumi di energia legati sia alla climatizzazione invernale sia a quella estiva.

Su ogni scheda prestazionale si riportano i seguenti dati:

- il codice COS della chiusura orizzontale superiore esistente, il periodo temporale in cui ha avuto maggiore diffusione e la stratigrafia, su cui è applicabile la soluzione proposta;
- il codice della soluzione di isolamento;
- la tipologia, lo spessore e la conducibilità del materiale isolante della soluzione proposta, PEI, % di disassemblabilità e % di prefabbricazione;
- il disegno della stratigrafia della copertura e della soluzione di isolamento applicata con descrizione degli elementi che le compongono;
- le proprietà termofisiche dei componenti edilizi della COS e della soluzione di isolamento proposta;
- i risultati dei valori prestazionali in regime invernale ed estivo ottenibili dall'applicazione delle soluzioni di isolamento;
- la verifica assenza condensa superficiale (isoterme);
- la verifica assenza condensa interstiziale (diagramma di Glaser - mese critico);
- grafico radiale per comparare i valori relativi a trasmittanza stazionaria U, trasmittanza periodica Yie, PEI, % di disassemblabilità e % di prefabbricazione della soluzione proposta;
- verifica del rispetto dei valori limite previsti da normativa vigente in regime invernale ed estivo.

Si riporta in Figura 9 l'esempio di una scheda prestazionale.

COS.05_IL.01.c

CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE COS.05

Utilizzata dal 1930 fino al 1975

Spessore tot: 255mm

1: Coppi/elemento di tenuta all'acqua

2: Malta di cemento

3: Calcestruzzo armato

4: Solaio latero-cementizio/elemento portante

5: Intonaco interno

U 1,82 W/m²K

YIE 1,03 W/m²K

Materiale Isolante

Schuma

OS: poliisocianurato espanso

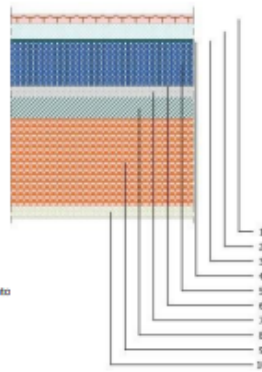
λ : 0,023

Spessore 80 mm

PEI: 80

DISA 89,84%

PREF 50%



Descrizione Stratigrafica Soluzione Spessore

ESTERNO

Descrizione Stratigrafica Soluzione	Spessore (mm)
1 Strato di tenuta in Tegole	15
2 Strato d'aria per ventilazione	30
3 Membrana bitume polimero plastomerica	4
4 Cartongfello bituminato	1
5 Pannello poliuretano espanso rigido 0,023	80
6 Barriera al vapore	1
7 Malta di cemento	20
8 Calcestruzzo armato	40
9 Blocco solaio laterizio	160
10 Intonaco interno	20

INTERNO

Spessore tot: 370

PROPRIETA' TERMOFISICHE DEI COMPONENTI EDILIZI

STRATO	DESCRIZIONE	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	M [kg/m³]	c [J/kgK]	R [m²K/W]	RISULTATI	
								TRASMITTANZA TOTALE	W/m²K
EXT	Adduttanza	0	-	25	-	-	0,04	TRASMITTANZA TOTALE	W/m²K
1	Strato di tenuta in Tegole	15	0,720	48,000	27,000	1000	0,0208		0,2432
2	Strato d'aria per ventilazione	30		18,18	0,040	1000	0,0550	MASSA SUPERFICIALE	kg/m²
3	Membrana bitume polimero plastomerica	4	0,1700	42,5000	4,80	1470	0,0235		315,25
4	Cartongfello bituminato	1	0,2300	460,000	0,55	1000	0,0022	SFASAMENTO	ore
5	Pannello poliuretano espanso rigido	80	0,0230	0,2875	2,72	1442	3,4783		10,23
6	Barriera al vapore	1	0,2200	440,000	0,14	1700	0,0023	FATTORE	0,15
7	Malta di cemento	20	1,4000	70,000	40,00	1000	0,0143	ATTENUAZIONE	
8	Calcestruzzo armato	40	0,8500	21,250	96,00	1000	0,0471	CAPACITA' TERMICA AREICA	kJ/m²K
9	Blocco solaio laterizio	160		3,7037	144,00	1000	0,2700		60,92
10	Intonaco interno	20	0,7000	35,0000	28,00	1000	0,0286	TRASMITTANZA PERIODICA	W/m²K
INT	Adduttanza	0	-	10	-	-	0,1		0,04

VERIFICHE TERMOIGROMETRICHE

CONDENSA SUPERFICIALE

Fattore di temperatura minima - fRsi = 0,9388
 Fattore di temperatura mese critico - fRsi,max = 0,7242 Mese critico: Dicembre
 Classe di concentrazione del vapore: Media
 valore massimo ammissibile di U: 1,1032 W/m²K

fRsi ≥ fRsi,max



RADAR COMPARATIVO



ENEA
 Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

CONDENSA INTERSTIZIALE



Pv ≤ Ps



VERIFICA VALORI LIMITE

Regime Invernale

Allegato E (UNI EN ISO 6946)

A-B-C	≤	0,27 W/m²K	<input checked="" type="checkbox"/>
D	≤	0,22 W/m²K	<input type="checkbox"/>
E	≤	0,20 W/m²K	<input type="checkbox"/>
F	≤	0,19 W/m²K	<input type="checkbox"/>



SAPIENZA
 UNIVERSITÀ DI ROMA

Figura 9 Esempio di una scheda prestazionale

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state impiegate consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

La pubblicazione dei risultati del primo anno di ricerca verrà svolta durante la seconda annualità.

10 Eventi di disseminazione

Le attività di disseminazione dei risultati verranno svolte durante la seconda annualità di ricerca.