

# Ricerca di Sistema elettrico



Mappatura di materiali da filiera circolare disponibili sul territorio italiano per la realizzazione di pannelli termoisolanti (LA2.12)

Lia Marchi, Jacopo Gaspari, Ernesto Antonini



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

MAPPATURA DI MATERIALI "NON CONVENZIONALI" O "INNOVATIVI" DISPONIBILI SUL TERRITORIO ITALIANO PER LA REALIZZAZIONE DI PANNELLI TERMOISOLANTI (LA2.12)

L. Marchi, J. Gaspari, E. Antonini

Dipartimento di Architettura, Università di Bologna

Dicembre 2024

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: Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: 2.12

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: UNIBO\_DA

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

## Indice

1	Risultati attesi .....	4
2	Risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi .....	8
4	Prodotti sviluppati .....	9
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	10
6	Sintesi delle attività svolte .....	11
7	Dettaglio delle attività svolte.....	12
7.1	Definizione dei requisiti e della matrice di valutazione.....	13
7.2	Identificazione dei prodotti che soddisfano i criteri fissati ed estrazione dei materiali di scarto da mappare.....	14
7.3	Mappatura dei materiali sul territorio nazionale.....	16
7.4	Discussione dei risultati e raccomandazioni.....	19
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	22
9	Pubblicazioni scientifiche.....	23
10	Eventi di disseminazione .....	24

## Indice delle figure

Figura 1 Schema di selezione dei materiali: da prodotti individuati in letteratura alle raccomandazioni finali per il loro trasferimento sul mercato italiano.....	12
Figura 2 Prodotti ammissibili ai fini della mappatura.....	15
Figura 3 Scheda tipo per la mappatura dei materiali. ....	16
Figura 4 Esempio di mappa concettuale che identifica le fasi in cui lo scarto viene generato.	17
Figura 5 Esempio di mappa che identifica i principali luoghi di produzione di un materiale. ...	17
Figura 6 Scheda completa del materiale An1 - Lana. ....	19

## Indice delle tabelle

Tabella 1 Matrice di valutazione dei prodotti.....	13
Tabella 2 Suddivisione in categorie dei materiali di scarto presenti in Italia. ....	16
Tabella 3 Estratto della tabella di priorità dei materiali analizzati.....	20

## 1 Risultati attesi

Lista dei risultati attesi come da capitolato vigente: il principale risultato di questa attività di ricerca consiste nella mappatura dei prodotti individuati nell'abaco di ENEA, corredati da informazioni relative alle loro caratteristiche tecnico-funzionali, agli aspetti logistico-gestionali e legislativi (barriere non tecniche) che ne possono consentire la rapida ed efficace introduzione nel mercato delle costruzioni, nonché dalla stima delle quantità potenzialmente disponibili sul territorio e la localizzazione dei luoghi di "produzione" principali/più promettenti ai fini di una loro reale introduzione nella filiera produttiva.

I risultati specifici attesi dalla ricerca sono:

- Definizione di una lista di requisiti che consenta di determinare in maniera speditiva se il materiale individuato da ENEA tramite ricerca bibliografica è classificabile come isolante. La lista costituirà un'integrazione/complemento alla lista di parametri decisionali definita da ENEA e sarà utile a supportare ulteriormente la ricerca bibliografica e di mercato finalizzata alla definizione dell'abaco di cui alla LA 2.7.
- Verifica dei prodotti inseriti nella lista di ENEA, secondo i requisiti individuati al punto precedente.
- Mappatura della disponibilità e dell'origine dei materiali costituenti sul territorio nazionale.
- Esplorazione dei possibili approcci tecnici applicabili ai prodotti analizzati, incluse, se del caso, le riflessioni circa l'adeguatezza di tali materiali rispetto ad applicazioni non in aderenza, o applicazioni modulari prodotte off-site.

## 2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti, per ciascun punto della sezione precedente sono:

- Definizione di una matrice di valutazione per selezionare i “prodotti” idonei dalla letteratura scientifica: sono stati definiti 2 criteri di ammissibilità dei prodotti (conducibilità termica massima e idoneità all’OSC), oltre alla identificazione di tutte le altre informazioni necessarie per categorizzare un prodotto termoisolante e consentirne l’eventuale comparazione con alternative disponibili. Il risultato più significativo di questa specifica fase è aver evidenziato quello che di fatto è un vuoto normativo intorno alla definizione di materiale isolante. Infatti, stante la conducibilità massima fissata dalla norma a 0.09 W/mK, risulta evidente che vi è un discostamento significativo con le prestazioni dei materiali diffusi sul mercato (che si attestano generalmente sotto lo 0.04). La mancanza di soglie per le prestazioni tecniche si riflette nella revisione della letteratura, che ha riscontrato una generale mancanza di dati su altre proprietà tecniche, come la diffusività del vapore acqueo, la stabilità geometrica, la durabilità, ecc. Pertanto, lo studio ha evidenziato una lacuna normativa che merita di essere colmata. Si ritiene che il settore potrebbe beneficiare di un elenco chiaro e decisivo di criteri di definizione con relative soglie per valutare l’idoneità dei prodotti, in quanto ciò consentirebbe di ridurre il tempo dedicato alla ricerca su materiali inefficaci.
- Estrazione dei materiali di scarto costituenti i prodotti idonei, e mappatura speditiva sul territorio: questa attività ha portato all’ammissione di 43 prodotti termoisolanti da letteratura, dai quali sono stati estratti 38 materiali classificabili come rifiuto/sottoprodotto, che possono essere valorizzati in nuovi prodotti per il mercato degli isolanti termici. A seguito di una verifica speditiva tramite codici CER e ATECO, è risultato che 25 di questi materiali di scarto sono potenzialmente reperibili sul territorio italiano, e spaziano da materiali a base animale (es. residui della lavorazione della lana di pecora) a materie plastiche (es. granulato di gomma da pneumatici esausti).
- Analisi quali-quantitativa dei materiali di scarto, unitamente alla identificazione di barriere/driver all’impiego o alla produzione: i materiali di cui al punto precedente sono stati analizzati nel dettaglio per identificare le possibili quantità reperibili, i principali luoghi di produzione/raccolta ed eventuali barriere/potenzialità degli stessi. Ne è emerso il seguente quadro generale: n.5 materiali sono risultati inadeguati allo scopo (es. pannelli prodotti con torba), n.4 poco promettenti, n.13 mediamente promettenti, per i quali si suggeriscono ulteriori studi di dettaglio, e n.3 che invece si configurano già come promettenti ad una loro possibile introduzione sul mercato. Questi ultimi, in particolare sono:
  - An1 Scarti di lavorazione della lana di pecora, utilizzato nei seguenti prodotti da letteratura:

A2: Pannello in lana di pecora con resina acrilico poliuretanic

A3: Pannello in lana di pecora con lattice di gomma naturale

A26: Rifiuti tessili di lana (grezza, per tappeti)

- Ve5 Scarti della lavorazione della cellulosa, utilizzato nei seguenti prodotti da letteratura:

A33: Isolamento a base di cellulosa

- Sn2 Schiuma di poliuretano rigenerata, utilizzato nei seguenti prodotti da letteratura:

A20: Pannelli di schiuma di poliuretano di scarto o di riciclo rigenerati mediante l'uso di catalizzatori alcolici

- Discussione dei risultati nel complesso, incluse riflessioni circa l'adeguatezza dei prodotti connessi alle diverse applicazioni tecniche, nonché identificazione dei limiti dello studio e necessità di futuri sviluppi. Si riportano le principali riflessioni divise per macrocategorie:
  - La categoria dei rifiuti di origine animale merita di essere approfondita ulteriormente in quanto le attività economiche responsabili sono ben radicate in Italia e quindi la quantità di rifiuti disponibili è potenzialmente molto elevata. I dati disponibili consentono di mettere in relazione i produttori (aziende agricole e tessili) con i centri di raccolta e con i dati annuali sulle tipologie di trattamento dei rifiuti. Inoltre, i materiali di questa macrocategoria hanno un grande potenziale in quanto attualmente presentano un costo di smaltimento per il produttore (agricoltore/azienda) che potrebbe essere monetizzato se riutilizzato nella produzione di nuovi prodotti utili.
  - La categoria dei rifiuti di origine vegetale, come torba, caffè, carta, legno, rifiuti agricoli, tessili e di riso, offre buone opportunità per il settore edilizio, ma presenta diverse sfide. Il caffè ha un buon potenziale, ma la difficoltà di raccogliere i rifiuti da capsule e caffetterie limita il suo utilizzo. La carta gode di una filiera di riciclaggio già consolidata, ma i suoi derivati non sono particolarmente efficaci come isolanti termici, tranne in alcune soluzioni specifiche. Il legno, pur essendo abbondante e già riciclato in altri settori, è promettente in soluzioni innovative come aerogel base di scarti di legno. In generale, c'è un buon potenziale di riutilizzo, ma le sfide logistiche e la mancanza di strutture di raccolta rappresentano al momento un serio ostacolo alla valorizzazione di queste risorse nel settore delle costruzioni.
  - La categoria dei rifiuti minerali comprende i materiali di scarto con prestazioni non eccellenti, suggerendo la necessità di verifiche e la raccolta di dati da fonte primaria prima di poterli considerare realmente idonei allo sviluppo sul mercato. Tuttavia, i residui di bauxite mostrano un buon potenziale in termini quantitativi, poiché ogni tonnellata di alluminio prodotta produce una tonnellata di residui di bauxite.
  - La categoria di rifiuti a base sintetica include materiali quali il poliuretano espanso (rigenerato) che sono accessibili in grandi quantità, dall'imballaggio degli elettrodomestici o dai rifiuti di costruzione e demolizione. Diversamente, il granulato di gomma proveniente da pneumatici a fine vita) è ricavato da un materiale di scarto ampiamente disponibile attraverso una filiera già consolidata e presenta

buone valutazioni di durabilità, ma non ha prestazioni competitive per quanto riguarda la conducibilità termica.

### 3 Prodotti attesi

- Rapporto tecnico.

## 4 Prodotti sviluppati

- Rapporto tecnico, che - rispetto al presente rapporto sintetico - espande la descrizione dei risultati e include le schede di analisi dei materiali di scarto inclusi nella mappatura.

## 5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si riscontrano scostamenti significativi su attività e risultati, essendo queste state svolte come descritto nel capitolato. Si precisa che a seguito di un confronto iniziale con ENEA, si è scelto di focalizzare l'attenzione sui prodotti realizzati con materiali di scarto/recupero. Inoltre, si segnala solamente la seguente rimodulazione delle attività di ricerca rispetto alla descrizione da capitolato: laddove si era indicato un tipo di attività comparativa da condurre sui materiali "già disponibili in commercio", si segnala che dalla lista di materiali forniti da ENEA non sono risultati materiali rientranti in tale categoria, trattandosi per la totalità di materiali provenienti da ricerca di base (nella maggior parte dei casi) o applicata.

## 6 Sintesi delle attività svolte

Le attività svolte nella presente LA sono state suddivise in quattro fasi principali: i) definizione di una lista di requisiti che consenta di determinare in maniera speditiva se il materiale individuato da ENEA tramite ricerca bibliografica è classificabile come isolante; ii) identificazione dei prodotti che soddisfano gli obiettivi prestazionali fissati ed estrazione dell'elenco dei materiali di scarto di cui sono composti i prodotti; iii) mappatura della loro disponibilità sul territorio nazionale, identificando al contempo le barriere specifiche o le potenzialità del loro utilizzo, incluse note rispetto alla loro idoneità all'utilizzo per OSC o altri approcci tecnici; iv) analisi critica dei materiali di scarto nel loro insieme e discussione dei più promettenti per lo sviluppo sul mercato, in base alle barriere e alle potenzialità individuate.

## 7 Dettaglio delle attività svolte

Il settore delle costruzioni svolge un ruolo cruciale per raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050. A supporto di ciò, attraverso la "Renovation Wave", l'Europa si è posta l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra degli edifici del 60% entro il 2030. Le prime azioni intraprese in Italia in tale direzione si sono concentrate sulla leva economica, esibendo un accesso massiccio agli incentivi fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici tramite il cosiddetto Superbonus. Questo ha avuto un forte impatto sulla riduzione della domanda energetica dei singoli edifici che ne hanno beneficiato, ma non sempre sono stati considerati aspetti di economia circolare e durabilità degli interventi. In una prospettiva di medio-lungo periodo, la riflessione sull'efficientamento energetico dovrebbe invece includere anche l'impatto ambientale dei materiali utilizzati, come quelli per il cappotto termico, che rischia altrimenti di spostare semplicemente in un'altra fase del ciclo di vita gli impatti connessi al settore.

La LA2.12 si concentra sulla ricerca di materiali "innovativi" per la produzione di termoisolanti, esplorandone la disponibilità sul territorio italiano, e le potenzialità/barriere alla loro introduzione sul mercato delle costruzioni nazionale.

La metodologia definita nell'ambito di questa LA per selezionare e mappare i materiali termoisolanti provenienti da scarto/processi di recupero è sintetizzata graficamente in figura.

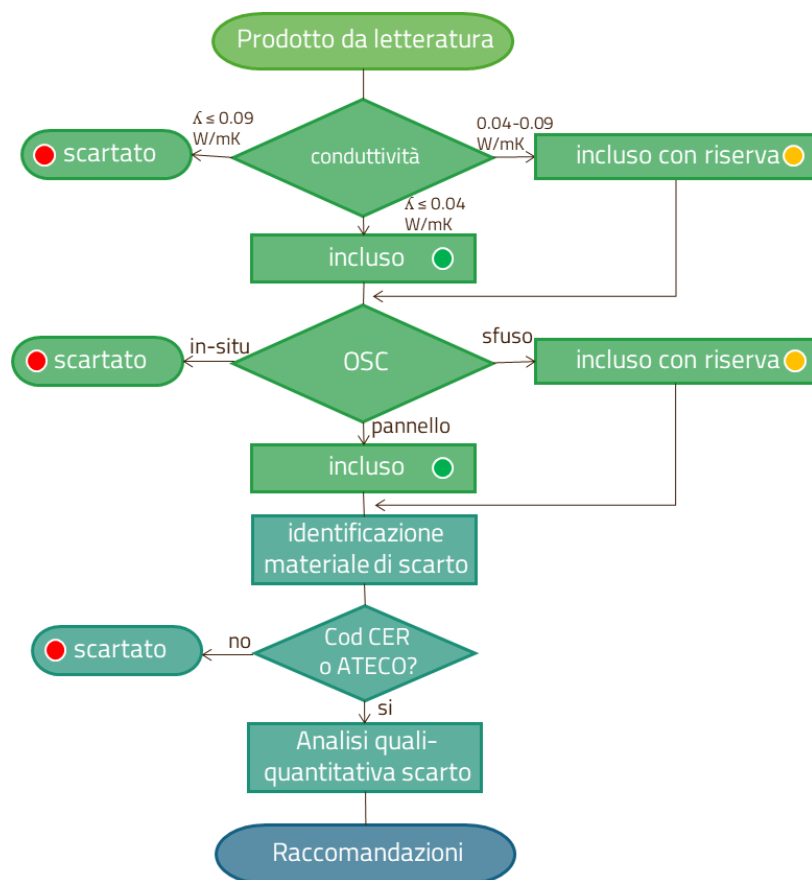


Figura 1 Schema di selezione dei materiali: da prodotti individuati in letteratura alle raccomandazioni finali per il loro trasferimento sul mercato italiano.

## 7.1 Definizione dei requisiti e della matrice di valutazione

Per categorizzare e valutare l' idoneità dei prodotti inclusi nella lista di ENEA ad essere considerati materiali termoisolanti per la produzione di pannelli OSC, è stata definita la seguente matrice multi-criteriale, che include informazioni tecniche e non solo. L'elenco dei requisiti e delle possibili classi (indicate tra parentesi quadre) sono stati estratti dal Regolamento UE sui prodotti - Allegato 1 (Parlamento Europeo, 2011) e integrati con le informazioni spesso riportate nelle schede tecniche dei prodotti, reperibili sui siti web dei principali produttori di isolanti.

Tabella 1 Matrice di valutazione dei prodotti

	<b>Prodotto n.</b>
<b>caratt. identificative</b>	Articolo [ <i>nome del prodotto</i> ]
	Paese di produzione
	Categoria 1 [ <i>fibroso - cellule chiuse - altro?</i> ]
	Categoria 2 [ <i>minerale - vegetale - sintetico - misto - altro?</i> ]
	Materiale
<b>caratt. termico-prestazioni.</b>	Densità (kg/m <sup>3</sup> )
	Conduttività termica (W/mK)
	Capacità termica specifica (J/kgK)
	Diffusività termica (m <sup>2</sup> /s)
<b>caratt. di resistenza e durabilità</b>	Classificazione al fuoco
	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo
	Resistenza alla compressione
	Durabilità
<b>caratt. di produzione</b>	Derivazione [ <i>I processo industriale primario - II sottoprodotto - III riciclo</i> ]
	Costi
	Riciclabilità/smaltimento
	Stabilità dimensionale [ <i>applicazione in sito - pannello - sfuso</i> ]
	Livelli di COV o altre sostanze "pericolose"
	Maturità [ <i>materiale da ricerca di base - applicazione</i> ]
<b>altro</b>	Barriere
	Note
	Fonte bibliografica

Quindi, sono state identificate le prestazioni minime (o qualitative) - ove opportuno - che costituissero criteri di ammissibilità dei prodotti ai fini del loro uso come pannelli termoisolanti per soluzioni OSC. In particolare, sono stati definiti i seguenti criteri:

- criterio 1 - limite di conducibilità termica
- criterio 2 - idoneità all' utilizzo in componenti OSC

Per il criterio 1, è stata fissata una conduttività termica  $\lambda < 0,09$  W/(mK). Il valore deriva dalla recente UNI/TR 11936:2024 "Materiali isolanti e finiture per l' edilizia - Linee guida per la verifica della conformità delle informazioni sulle prestazioni termiche al quadro normativo", che nel par. 3.7 riporta che "possono essere considerati materiali con funzione di isolamento termico quelli che presentano una conducibilità inferiore a 0,09 W/(mK)". Pertanto, i materiali presenti nella lista di ENEA con  $\lambda > 0,09$  sono stati scartati. Ciò ha portato all' esclusione di tutte le malte e le

lastre di gesso con additivi organici che, sebbene presentassero prestazioni termiche migliori rispetto alle loro alternative convenzionali, non rientravano nello scopo del presente studio.

Si è poi proceduto con un'ulteriore distinzione dei prodotti ammessi, in base ai valori di conduttività dei materiali isolanti attualmente disponibili sul mercato. Prendendo a riferimento il Prospetto 1 incluso nella norma menzionata, si è osservato che delle 13 categorie di materiale incluse nella tabella, circa 7 (50%+) presenta valori di conduttività inferiori a 0,04 W/mK. Su questa base:

- $\lambda$  non dichiarato nello studio: prodotto escluso
- $\lambda \geq 0,09$  W/mK: prodotto escluso
- $\lambda < 0,09$  W/mK: prodotto incluso con la seguente categorizzazione
  - $0,04 < \lambda < 0,09$  W/mK: semaforo arancione – conduttività non ottimale, ammesso con riserva di ulteriori verifiche
  - $\lambda \leq 0,04$  W/mK: semaforo verde – conduttività ottimale, comparabile con i prodotti più diffusi sul mercato italiano (i.e., secondo il rapporto ANIT: Lana di Roccia - MW, Polistirene)

Quanto al criterio 2, affinché il prodotto sia potenzialmente utilizzabile per l'OSC, si escludono prodotti spalmabili/applicabili solo in sito (semaforo rosso). Per i rimanenti:

- per i prodotti già disponibili in "pannello" si procede all'inclusione, con semaforo verde
- mentre per quanto riguarda i materiali sfusi, il cui valore di  $\lambda$  può variare sensibilmente in funzione delle modalità applicative, si suggerisce di verificare che la soluzione proposta nella letteratura permetta di ottenere unità omogenee del prodotto (e della prestazione): semaforo arancione.

## 7.2 Identificazione dei prodotti che soddisfano i criteri fissati ed estrazione dei materiali di scarto da mappare

I prodotti da letteratura sono quindi stati catalogati in un foglio Excel, con le informazioni reperite dagli articoli scientifici di riferimento e ulteriori integrazioni dove necessario.

Dei 453 prodotti presenti nella lista di ENEA, 14 sono stati scartati per i seguenti motivi:

- 4 prodotti (comprese le varianti in composizione): poiché si trattava di uno studio doppio (gli autori avevano riportato lo stesso studio in due articoli, descrivendo fasi di studio diverse).
- prodotti (comprese le varianti): poiché i materiali costituenti non erano sottoprodotti o provenienti da processi di recupero, ma appositamente coltivati allo scopo (produzione primaria).
- 1 prodotto: poiché il valore di conducibilità termica era stato calcolato per i materiali sfusi, non lavorati e non per il prodotto composito.

Applicando quindi i 2 criteri di ammissibilità, sono stati scartati i prodotti con almeno un semaforo rosso:

- 274 prodotti esclusi, in quanto i valori di conducibilità termica superavano la soglia ( $\lambda \geq 0,09$  W/mK)
- 1 prodotto escluso in quanto non adatto all'OSC.

Ai restanti 43 prodotti (per un totale di 164 varianti) è stato assegnato un codice progressivo (A01, A02, A03, ecc.) e sono stati identificati i materiali di scarto.

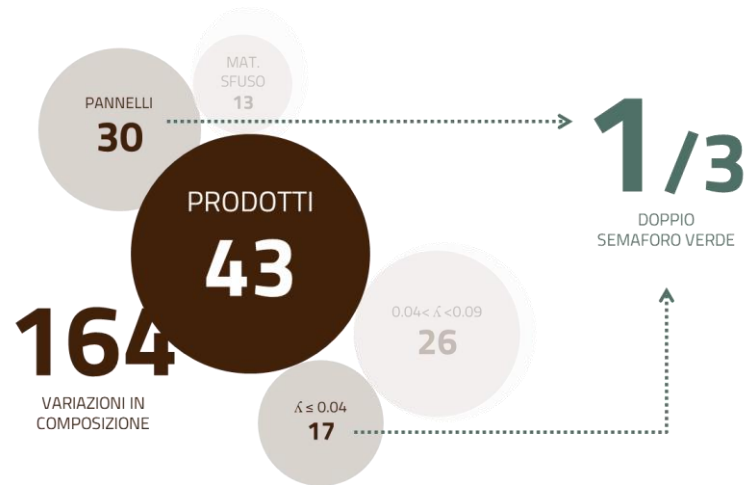


Figura 2 Prodotti ammissibili ai fini della mappatura.

Dai prodotti ammessi alla fase successiva, codificati progressivamente (A01, A02, A03, ecc.), sono stati estratti i materiali di scarto da mappare. Questi sono stati raggruppati per origine del tipo di rifiuto (es. vegetale) e organizzati in categorie di rifiuti (es., origine vegetale > carta > materiale di scarto 1, materiale di scarto 2, materiale di scarto n).

Si è quindi proceduto con la fase di mappatura speditiva, per determinare se il materiale di scarto necessario per sostenere la produzione dei prodotti termoisolanti identificati può essere reperito sul territorio italiano. I materiali sono stati cercati in due elenchi istituzionali fondamentali:

- la lista dei codici ATECO, che identifica le attività economiche presenti in Italia, specificando tutti i prodotti lavorati - o servizi offerti - da ciascuna attività, quindi anche i materiali che si possono trovare sul territorio come sottoprodotti.
- La lista dei codici CER, che identifica le categorie di rifiuti riconosciute dalla legislazione nazionale.

I materiali che non presentavano nemmeno una corrispondenza con codice CER o ATECO sono stati scartati (semaforo rosso) poiché non presenti o non regolamentati, e quindi inadatti allo sviluppo sul mercato italiano.

Ne sono risultate 18 categorie per un totale di 38 materiali di scarto. A seguito della ricerca speditiva per codice ATECO e/o CER, 13 materiali sono stati esclusi. I 25 materiali di scarto disponibili in Italia sono stati associati a un codice identificativo (Sigla della categoria e numero progressivo) e ammessi alla fase successiva.

Tabella 2 Suddivisione in categorie dei materiali di scarto presenti in Italia.

Macro categoria	Categoria	Materiali da mappare (n.)
Animale	1. Lana	1
	2. Piume	1
Vegetale	3. Palma	2
	4. Torba	3
	5. Caffè	2
	6. Carta	2
	7. Legno	5
	8. Paglia	1
	9. Mais	1
	10. Riso	3
	11. Canapa	1
	12. Cotone	1
	13. Lino	1
14. Altre	8	
Minerale	15. Bauxite	1
	16. Perlite	1
Sintetico	17. Materie plastiche	3
	18. Acrilico	1

### 7.3 Mappatura dei materiali sul territorio nazionale

È seguita una fase di analisi quali-quantitativa dei rifiuti, utilizzando le metodiche e le fonti tipiche della 'desk based research'. È stata predisposta una scheda tipo, dove riportare in maniera omogenea le informazioni reperite circa le quantità potenzialmente reperibili, i possibili luoghi di produzione/raccolta dello scarto, e le eventuali barriere tecniche/non tecniche allo sviluppo del mercato dei prodotti associati.

CATEGORIA	<b>01</b>
<b>NOME MATERIALE</b>	
<b>IDENTIFICAZIONE RIFIUTO</b> Cod. CER: Cod. ATECO:	<b>ORIGINE</b> e.g. industriale, urbano
<b>QUANTITÀ DISPONIBILI</b> Stima delle quantità disponibili sul territorio italiano, riferite genericamente alla categoria di rifiuto e/o al codice specifico.	
<b>LUOGHI DI PRODUZIONE/RACCOLTA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipologia dei luoghi in cui si può trovare il materiale</li> <li>• Aziende specifiche (grandi produttori)</li> <li>• Mappe geografiche e/o concettuali</li> </ul>	
<b>NOTE</b> e.g. barriere o potenzialità per l'utilizzo del materiale di scarto o sviluppo commerciale del prodotto collegato	
<b>RIFERIMENTI</b> Banche dati e/o articoli da cui sono stati ricavati i dati	
<b>PRODOTTI CORRELATI</b> Nome/i dei prodotti da letteratura <span style="float: right;">c1: ●   c2: ●</span>	

Figura 3 Scheda tipo per la mappatura dei materiali.

Poiché le statistiche nazionali e i dati sulla raccolta dei rifiuti spesso sono forniti in categorie generali (ad esempio, nel caso dell'Italia i primi due numeri del codice CER o ATECO), in alcuni

casi è stato difficile reperire informazioni dettagliate su specifici rifiuti materiali. Le principali fonti di informazione sono state le banche dati statistiche nazionali e i rapporti annuali sui rifiuti (es. Rapporti ISPRA), i servizi per le aziende che si occupano di trattamento dei rifiuti (es. Registro Recupero Rifiuti, un portale web dove è possibile trovare le strutture degli operatori che si occupano di recupero e/o smaltimento dei rifiuti in Italia), e il database nazionale per la produzione di attività economiche (Istat).

Ove disponibili, questi dati sono stati integrati con rapporti scientifici o di mercato che fornissero stime della quantità di sottoprodotti o rifiuti generati dalla produzione di un determinato materiale, consentendo di ricavare una stima dei rifiuti disponibili. Ad esempio, la produzione di una tonnellata di riso bianco genera circa 70 kg di "materiale di scarto", la crusca di riso. Poiché la produzione nazionale annua di riso è di circa 1,6 milioni di tonnellate, si può dedurre che in Italia sono disponibili circa 112.000 tonnellate di crusca di riso all'anno.

Per le categorie di rifiuti ove ciò risultasse rilevante, sono state prodotte mappe concettuali e/o geografiche che illustrassero il processo di produzione con le fasi nelle quali viene prodotto un determinato sottoprodotto/rifiuto, o le principali fonti di rifiuti a livello nazionale, regionale o locale, sulla base delle schede informative dei materiali.

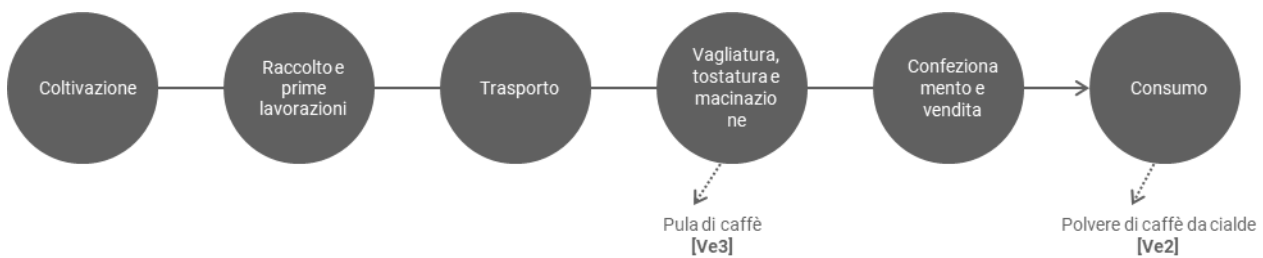


Figura 4 Esempio di mappa concettuale che identifica le fasi in cui lo scarto viene generato.



Figura 5 Esempio di mappa che identifica i principali luoghi di produzione di un materiale.

## Identificativo rifiuto

Codice CER

04 02 21 rifiuti da fibre tessili grezze  
04 02 22 rifiuti da fibre tessili lavorate

Origine del rifiuto

Industriale

Codice ATECO

13.10 Preparazione e filatura di fibre tessili

Industriale

## Stima delle quantità

Dati generici

- Tessili da raccolta differenziata a scala nazionale: 160 t/anno (2022). Il dato è disponibile anche suddiviso per regione e provincia.
- CER 04 Rifiuti della lavorazione di pelli e pellicce e dell'industria tessile: RS NP 636.949 t/2021
- Ateco 13: RS NP 237.845 t/2021

Dati specifici di produzione per codice ATECO a 8 cifre (IstatData)

Produzione realizzata in quantità - kg (2021 dove non altrimenti specificato)

- 131022 Lana, sgrassata o carbonizzata, non cardata né pettinata: 19.939.986
- 131023 Pettinacce di lana o di peli fini: 5.460.600
- 131024 Lana o pelo, cardata o pettinata: 19.553.450
- 13105010 filati di lana o di peli fini cardati, non condizionati per la vendita al minuto: 19.967.655
- 13105030 filati di lana pettinata o di peli fini pettinati o grossolani, non condizionati per la vendita al minuto: 28.285.914
- 13105050 filati di lana o di peli fini, condizionati per la vendita al minuto: 6.799.061
- 13106220 Cascami di lana o di peli fini o grossolani: 109.234 (2022, dato non fornito per 2021).
- 13106300 sfilacciati di lana o di peli fini o grossolani: 40.031.498

Da un'indagine di filiera compiuta nel 2004 si evince che sul totale dei rifiuti prodotti dal campione di aziende selezionate nei distretti di Biella e Vercelli, il 77% afferiva al CER 040221, e circa 13% da CER040222. Inoltre, i residui di lavorazione rappresentavano complessivamente il 12,35% in peso della quantità totale prodotta, e di questi il 99,6% è costituito da rifiuti non pericolosi mentre lo 0,04% da rifiuti pericolosi (Fonte: [ISPRA](#) p.60).

Assumendo la produzione realizzata in quantità nel 2021 per i codici 13.10.22-24, ne deriviamo una produzione di circa 44954 t. Considerando che i residui di lavorazione costituiscono circa il 12% in peso, e di questi il 90% afferisce alle due categorie di interesse per questa scheda, si stima una disponibilità di: **4855\* t/anno** (04 02 21 e 22 in relazione alla produzione stimata di lana). Ai quali aggiungere i rifiuti provenienti dalle altre produzioni.

## Luoghi di produzione e/o raccolta

- Aziende manifatturiere del comparto, si veda in particolare il distretto di Prato e di Biella.
- Centri di raccolta consortili
- Aziende specializzate nel recupero dei cascami tessili, es. [Pistoni](#)
- (comuni - isole ecologiche e/o appositi contenitori per vestiti in ambiti urbani, laddove si volesse integrare anche il recupero di abbigliamento monomateriale in lana)

Centri di raccolta registrati sul portale Registro Recupero Rifiuti per i seguenti codici CER

- cod. [04 02 21](#): es. RICREA SRL - Lazio (Roma); omnia srl - Sicilia (Agrigento); Ergoplast Srl - Friuli Venezia-Giulia (Udine); LA CO.ME.TA. srl - Veneto (Padova); DESTRO ROBERTO EREDI srl - Veneto (Padova); LAINI ALBERTO - Lombardia (Bergamo)
- cod. [04 02 22](#)

04.02.21 rifiuti da fibre tessili grezze



04.02.22 rifiuti da fibre tessili lavorate



<p><b>Note</b></p> <p>Trattasi dei residui non pericolosi delle fasi di lavorazione dell'industria tessile della lana (come, ad esempio, rifiuti da fibre tessili grezze o lavorate). Anche se più difficile da quantificare, il materiale di scarto include la lana per tappeti, cioè lana lavorata, a fine vita, che potrebbe subire un processo di carbonizzazione che la libera da impurità per poi reimmetterla sul mercato passando da rifiuto a risorsa.</p> <p><u>Possibili barriere:</u> "È importante tener presente che parecchi scarti della lavorazione del tessile sono considerati dalle aziende stesse dei sottoprodotti e non dei rifiuti in quanto vengono venduti ad altre aziende, prevalentemente tessili, che li riutilizzano all'interno del loro ciclo produttivo; sono quindi residui che hanno un valore commerciale. [...] Quasi tutte le tipologie di rifiuti sono stoccate dalle aziende come messa in riserva (R13) al fine di essere avviate ad una operazione di recupero." Per quanto riguarda la fase di filatura, gli scarti di lavorazione (es. scarti da fibre tessili) possono raggiungere fino al 30% del totale (Fonte: <a href="#">ISPRA</a>, p.61-63).</p> <p><u>Potenziati sviluppi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• i prodotti da letteratura utilizzano "scarti di lavorazione della lana" e non rifiuti tessili da raccolta differenziata urbana, che tuttavia possono essere considerati per futuri studi (es. Rifò).</li> <li>• Altresì, si raccomanda di indagare ulteriormente l'utilizzo di lana non lavorata, che costituisce un rifiuto speciale (dunque un costo) per molti allevatori.</li> <li>• Si segnalano interessanti iniziative in corso nel distretto tessile laniero di Prato, in relazione ai finanziamenti PNRR, per rendere la filiera a scarto zero: <a href="#">Prato Circular Hub</a>.</li> </ul>	
<p><b>Riferimenti</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapporto Rifiuti Urbani ISPRA 2023 p.42.</li> <li>• Rapporto Rifiuti Speciali ISPRA 2023 pp. 13; 25.</li> <li>• <a href="https://www.lastampa.it/cuneo/2020/01/16/news/quella-lana-di-pecora-da-prodotto-povero-a-rifiuto-speciale-sempre-piu-elevati-i-costi-per-lo-smaltimento-1.38337114/#:~:text=La%20lana%20che%20rimane%20grezza,speciale%C2%BB%2C%20e%20smaltirlo%20costa">https://www.lastampa.it/cuneo/2020/01/16/news/quella-lana-di-pecora-da-prodotto-povero-a-rifiuto-speciale-sempre-piu-elevati-i-costi-per-lo-smaltimento-1.38337114/#:~:text=La%20lana%20che%20rimane%20grezza,speciale%C2%BB%2C%20e%20smaltirlo%20costa</a>.</li> <li>• <a href="https://comistra.com/it/news/cos-e-la-carbonizzazione-della-lana/">https://comistra.com/it/news/cos-e-la-carbonizzazione-della-lana/</a></li> <li>• <a href="https://www.isprambiente.gov.it/public_files/cicli_produttivi/Tessile/Tessile_lana.pdf">https://www.isprambiente.gov.it/public_files/cicli_produttivi/Tessile/Tessile_lana.pdf</a></li> </ul>	
<p><b>Prodotti da letteratura</b></p> <p><i>Rif. schede prodotto</i></p> <p>A2: Pannello in lana di pecora con resina acrilico poliuretanic (Dénes et al., 2022a)   c1: ● c2: ●</p> <p>A3: Pannello in lana di pecora con lattice di gomma naturale (Dénes et al., 2022a)   c1: ● c2: ●</p> <p>A26: Rifiuti tessili di lana (grezza, per tappeti)(Wazna et al., 2019)   c1: ● c2: ●</p> <p>A2 e A3: la quantità necessaria per unità di prodotto non è chiara. Per dettagli si veda l'articolo (Dénes et al., 2022b) a p.6, Tabella 2: il rapporto tra fibre e legante varia tra 1:2 e 1:4.</p> <p>A26: I due prodotti descritti nell'articolo (Wazna et al., 2019) sono costituiti da lana al 100%, rilavorata secondo una procedura e dei macchinari accuratamente descritti. Viene riportato un peso di 106 g/m<sup>2</sup> per la lana grezza (13 mm di spessore), 127 g/m<sup>2</sup> per la lana da tappeti (12 mm di spessore).</p>	

Figura 6 Scheda completa del materiale An1 - Lana.

## 7.4 Discussione dei risultati e raccomandazioni

A seguito dell'analisi di ciascuno, i materiali di scarto sono stati raggruppati in base a:

- disponibilità di dati specifici sulle quantità
- individuazione di luoghi specifici di produzione o raccolta dei rifiuti
- barriere all'uso dei rifiuti (es. se è difficile raccogliere il materiale in maniera sistematica)
- prestazioni tecniche del prodotto rispetto ai criteri di ammissibilità di cui alla prima fase.

Questa categorizzazione ha sostanziato l'analisi critica della fase di mappatura per ciascun materiale, facilitando la discussione e la classificazione del loro potenziale. L'analisi è stata registrata in una tabella sinottica in cui le colonne i-iii rappresentano i fattori chiave che influenzano il processo decisionale. Per ogni fattore viene assegnato Sì/No ai materiali in base al loro potenziale di sviluppo del mercato. Il No viene assegnato ai materiali che presentano almeno un serio ostacolo al potenziale sviluppo del mercato del prodotto associato, come ad

esempio l'insufficiente disponibilità di rifiuti, o le difficoltà nella raccolta dei rifiuti a causa della distribuzione dei punti di produzione, o i rifiuti misti non facilmente separabili (ad esempio, i rifiuti organici domestici).

Di conseguenza, i materiali sono stati classificati in base al loro potenziale di mercato, indicando la necessità di procedere per priorità con ulteriori studi di dettaglio:

- Alta priorità: almeno due Sì nelle colonne i-iii e un semaforo verde per il criterio 1 nella colonna iv
- Media priorità: almeno una Sì nelle colonne i-iii e un semaforo verde per il criterio 1 nella colonna iv; oppure almeno due Sì nelle colonne i-iii.
- Bassa priorità: i materiali rimanenti.

Tabella 3 Estratto della tabella di priorità dei materiali analizzati.

		<b>quantità</b>	<b>luoghi</b>
<b>PRIORITÀ ALTA</b>			
<b>An1</b>	Scarti di lavorazione lana di pecora (grezza - per tappeti)	5.000 t/a	e.g., distretti lana di Prato, Biella
<b>Ve5</b>	Cellulosa (scarti di lavorazione)	n.d.	tutto il territorio (consorzi di filiera)
<b>Sn2</b>	Poliuretano rigenerato (da imballaggi)	n.d.	tutto il territorio (consorzi di filiera)
<b>PRIORITÀ MEDIA</b>			
<b>An2</b>	Piume di pollo	67 t/a	principali gruppi carni avicole >
<b>Ve3</b>	Pula di caffè	11.000 t/a	principali torrefazioni nazionali >
<b>Ve4</b>	Carta riciclata (lana - polpa - fogli)	3.650k t/a	tutto il territorio (consorzi di filiera)
<b>Ve15</b>	Scarti di lavorazione fibre di cotone	n.d.	aziende dedicate cascami fibre tess.
<b>Sn3</b>	Granulato di gomma da pneumatici	429.000 t/a	tutto il territorio (raccolta specializ.)
...	...		
<b>PRIORITÀ BASSA</b>			
<b>Ve11</b>	Midollo di mais	n.d.	attività economiche connesse
...	...		

È seguita una fase di discussione critica dei risultati nel complesso, tenendo conto delle filiere circolari già attivate per altri settori, e quindi prospettando loro possibili integrazioni, o altrimenti identificando le altre filiere che offrissero interessanti potenzialità per la valorizzazione degli scarti.

Dal punto di vista metodologico, è emerso che la letteratura sui prodotti per l'isolamento termico degli edifici a base di rifiuti è in forte crescita. Questo campo di ricerca è strettamente connesso a quello dei materiali bio-based, come dimostra il fatto che circa tre quarti della letteratura esaminata riguarda le fibre tessili, agricole o animali, inventariate in questo studio sotto le macrocategorie di materiali animali e vegetali.

Tuttavia, un limite dell'attuale letteratura è che la maggior parte dei prodotti presenti negli studi si trova in una fase iniziale di sviluppo, con pochi tentativi di fornire un'analisi completa degli isolanti termici a base di rifiuti che potrebbero supportare la loro introduzione, anche sperimentale, sul mercato. Infatti, oltre alla conducibilità termica, rilevata nella maggior parte

degli articoli, gli altri requisiti (resistenza al fuoco, diffusione del vapore acqueo, costo), utili per descrivere e selezionare un materiale appropriato caso per caso, sono riportati raramente.

Inoltre, circa due terzi dei prodotti mappati presenta valori di conducibilità termica superiori a 0,04 W/mK, che possono essere considerati una soglia dettata dal mercato. Ciò significa che i potenziali nuovi prodotti sviluppati in Italia dovrebbero avere uno spessore quasi doppio rispetto ai prodotti attuali (ad esempio, EPS, XPS, ecc.) per soddisfare i requisiti di prestazione energetica stabiliti dalla normativa. Ciò evidenzia un limite significativo che ostacola il dimensionamento standard delle soluzioni OSC, sia in relazione alla produzione che all'installazione.

Quanto alle prospettive aperte da questa attività di ricerca, si segnala che l'attenzione dello studio si è concentrata sui "materiali" di scarto, ma in futuro lo studio potrebbe analizzare il livello di "prodotto", tenendo conto di altre proprietà prestazionali tecniche e non tecniche, con il supporto di informazioni raccolte sulle quantità di materiali disponibili e sulle barriere identificate. Sebbene l'obiettivo dello studio fosse l'identificazione di prodotti per l'isolamento termico a basso impatto ambientale adatti a componenti fuori sede, esiste un potenziale per il loro utilizzo in processi e soluzioni più convenzionali per aumentarne la sostenibilità, come, ad esempio, nell'assemblaggio di un rivestimento termico tipicamente eseguito in loco con pannelli e finiture liquide.

## 8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Come da capitolato, non sono state utilizzate consulenze per le attività sopra descritte.

## 9 Pubblicazioni scientifiche

Elenco delle pubblicazioni scientifiche eventualmente risultanti dall'attività svolta. Inserire link se già disponibile.

- Susca, Tiziana; Marchi, Lia; Gaspari, Jacopo; Antonini, Ernesto; Benedetti, Miriam, *Low-impact thermal insulation materials for sustainable retrofitting: potentialities and barriers from a literature review*, «IOP CONFERENCE SERIES. EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE», 2024, 1402, Article number: 012032, pp. 1 – 16 - [link](#)

## 10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione eventualmente scaturiti dall'attività svolta. Inserire link se disponibile, oppure anche immagini (dell'evento, del programma, ecc.). Inserire anche pubblicazioni già sottomesse ma non ancora accettate (specificandolo).

- Relazione al Convegno Conclusivo del progetto, presso SAIE Bologna, con un intervento dal titolo Mappatura di isolanti termici da materiali di filiera circolare sul territorio italiano, a cura di Arch. Lia Marchi.
- Marchi, Lia; Susca, Tiziana; Benedetti, Miriam; Antonini, Ernesto; Gaspari, Jacopo (**articolo inviato, attualmente in revisione**) Waste-based thermal insulation materials for buildings: an outlook for the Italian context, *Building Research and Information* by Taylor & Francis.
- Brochure informativa ENEA “Off-Site Construction e Riqualificazione Edilizia | Stato e prospettive della filiera italiana”, sezione a cura degli autori: “Verso un’edilizia sostenibile: da rifiuti a isolanti termici”, 2025.