



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

**Studio di un nuovo pannello isolante per l'edilizia
composto da paglia di riso trinciata e legante vegetale**

Relatore

prof. Jean Marc Tulliani

Candidato

Simone Bruni

Dicembre 2020

A mio zio Rosario

“Non pretendiamo che le cose cambino,
se continuiamo a fare le stesse cose.
La crisi può essere una grande benedizione per le persone e le nazioni,
perché la crisi porta progressi.

La creatività nasce dall'angoscia
come il giorno nasce dalla notte oscura.
È nella crisi che sorge l'inventiva, le scoperte e le grandi strategie.
Chi supera la crisi supera se stesso senza essere superato.
Chi attribuisce alla crisi i suoi fallimenti e disagi,
inibisce il proprio talento e dà più valore ai problemi che alle soluzioni.
La vera crisi è l'incompetenza.
Il più grande inconveniente delle persone e delle nazioni
è la pigrizia nel cercare soluzioni e vie di uscita ai propri problemi.

Senza crisi non ci sono sfide,
senza sfide la vita è una routine, una lenta agonia.

Senza crisi non c'è merito.
È nella crisi che emerge il meglio di ognuno,
perché senza crisi tutti i venti sono solo lievi brezze.
Parlare di crisi significa incrementarla,
e tacere nella crisi è esaltare il conformismo.
Invece, lavoriamo duro.

Finiamola una volta per tutte con l'unica crisi pericolosa,
che è la tragedia di non voler lottare per superarla.”

Albert Einstein

PARTE INTRODUTTIVA	7
1. Introduzione.....	7
2. Cos'è RiceHouse?	9
2.1. Valore ambientale, con particolare riferimento alla mitigazione della crisi climatica	11
2.2. Contenuto innovativo dell'idea progettuale.....	12
2.3. Risultati economici attesi	13
2.4. Possibilità di diffusione e prospettiva di sviluppo	17
2.5. Premi e riconoscimenti	17
PARTE PRIMA	19
3. La direttiva quadro sui rifiuti	20
3.1. Definizioni	21
3.2. Prevenzione e riciclaggio dei rifiuti	22
3.3. Cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste).....	22
3.4. Il programma End of Waste per i rifiuti organici.....	23
3.5. Il recepimento italiano.....	24
3.6. Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti	25
4. Il riso	27
4.1. Proprietà	28
4.2. Produzione e consumo in Italia	28
4.3. Lavorazione e sottoprodotti	30
4.4. Paglia di riso.....	32
4.4.1. Composizione	33
4.4.2. Trattamento e possibili utilizzi.....	35
4.4.3. Progetti finanziati dall'Unione Europea.....	36
4.5. Pula di riso	37
4.6. Lolla di riso.....	38
5. I materiali tessili	39
5.1. Le fibre	39
5.1.1. Classificazione delle fibre tessili	39
5.1.2. Proprietà.....	42
5.1.3. Fibre miste	49
5.1.4. Il saggio alla fiamma	50
5.2. I filati	51
5.3. Le superfici tessili.....	52
5.3.1. Tessuti non tessuti (TNT)	52
6. Le bioplastiche	53
6.1. Applicazioni	54
6.2. Materia prima e uso di suolo	57
6.3. Benefici ambientali e Life Cycle Assessment	59
6.4. Certificazioni	60
6.5. Etichette	61
6.5.1. Etichetta "compostabile"	61
6.5.2. Etichetta "bio-based"	62
6.6. Il PLA (Poly-Lactic Acid)	63
6.6.1. Produzione.....	63
6.6.2. Applicazioni tipiche	64
PARTE SECONDA	67
7. I materiali isolanti.....	68
7.1. Classificazione	68
7.2. Caratteristiche prestazionali	69
7.2.1. Comportamento termico e trasmissione del calore.....	69
7.2.2. Comportamento igrometrico e diffusione del vapore acqueo.....	71
7.2.3. Comportamento acustico	73
7.2.4. Comportamento al fuoco	74
7.2.5. Comportamento meccanico.....	77
8. I materiali isolanti ecosostenibili	78
8.1. Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP).....	78

8.2.	Fibra di legno	79
8.3.	Sughero	81
8.4.	Lana di pecora	83
8.5.	Fibra di canapa	85
8.6.	Fibra di kenaf.....	87
8.7.	Vetro cellulare	89
8.8.	Fibra di legno mineralizzata.....	91
9.	Il quadro normativo	93
9.1.	Organizzazione della produzione normativa.....	93
9.2.	Progetto di norma in corso di sviluppo: prEN 17139	95
9.3.	La norma EN 13171	95
9.3.1	Riferimenti normativi	95
9.3.2.	Test di laboratorio	97
9.3.3.	Il codice di designazione.....	99
9.3.4.	Valutazione e verifica della costanza della prestazione (AVCP)	101
9.3.5.	Marcatura CE.....	101
9.3.6.	Dichiarazione di Prestazione (DoP).....	103
PARTE TERZA.....	105	
10.	Studio del nuovo pannello isolante	106
10.1.	Pannello in paglia trinciata e polimeri da riciclo	106
10.2.	Pannello in paglia trinciata e legante vegetale	109
10.2.1.	Il MATER-BI di Novamont S.p.A.	110
10.2.2.	Realizzazione dei campioni	111
10.3.	Comparazione con prodotti analoghi	114
10.3.1.	Analisi delle caratteristiche di sostenibilità	114
10.3.2.	Analisi delle caratteristiche tecniche	116
PARTE CONCLUSIVA.....	123	
11.	Considerazioni finali	123
<i>Bibliografia e sitografia</i>	<i>127</i>	
<i>Ringraziamenti</i>	<i>131</i>	

PARTE INTRODUTTIVA

1. Introduzione

Questa tesi ha avuto origine dall'esperienza lavorativa nata inizialmente con lo studio dell'architetto Tiziana Monterisi, subito dopo il tirocinio del corso di laurea triennale svolto nel 2014, e successivamente con l'azienda RiceHouse, di proprietà dell'architetto e del suo socio Alessio Colombo, presso la quale, invece, è stato svolto il tirocinio del corso di laurea magistrale.

Alla base dello studio oggetto della tesi vi è stata la volontà della ricerca di un pannello isolante partendo dai concetti di economia circolare e ciclo chiuso; un prodotto al contempo tecnicamente efficiente, costituito da materiali naturali e conseguentemente compostabile a fine vita, con il minor impatto possibile sull'ambiente, concepito non tanto per dare un'alternativa ad un ventaglio già estremamente articolato di opzioni, quanto più per fornire una prima vera soluzione valida sia per piccoli interventi che ad ampia scala.

La tesi si articolerà in un'introduzione, una conclusione e tre macro-parti centrali. Nel secondo capitolo della parte introduttiva verrà presentata RiceHouse, la filosofia aziendale e l'ideologia di fondo che ha condotto, tra l'altro, anche alla realizzazione di questo lavoro.

La parte prima, suddivisa in quattro capitoli, tratterà la normativa e le materie prime prese in analisi per la realizzazione del pannello oggetto di studio:

- all'interno del capitolo 3 sarà illustrata la situazione normativa europea e italiana relativamente ai rifiuti, spiegando i progetti dell'Europa per ridurre gradualmente il loro smaltimento entro i prossimi anni, incentivando invece il recupero, riciclaggio e riutilizzo, fino all'obiettivo di un'economia circolare e un'Europa a zero rifiuti;
- nel capitolo 4 verrà esposta la filiera del riso: partendo da un punto di vista prettamente alimentare, si giungerà poi ai sottoprodotti derivanti dalla coltivazione, apparentemente un problema, ma in realtà una potenziale risorsa;
- nel capitolo 5 saranno presentati i materiali tessili, con particolare attenzione alle fibre, alla loro classificazione e alle diverse proprietà;
- il capitolo 6 sarà invece incentrato sulle bioplastiche, la loro applicazione e i vantaggi rispetto all'utilizzo di plastiche convenzionali.

Nella seconda parte della tesi, suddivisa in tre capitoli, ci si concentrerà in modo approfondito sui materiali isolanti per l'edilizia:

- il capitolo 7 tratterà la loro classificazione e le diverse caratteristiche prestazionali;
- nel capitolo 8 si scenderà invece nel dettaglio dei materiali isolanti ecosostenibili: saranno elencati i principali attualmente presenti sul mercato e le loro diverse specifiche;
- all'interno del capitolo 9, infine, verrà illustrata la normativa specifica sui materiali isolanti e sui test di laboratorio da effettuare per la regolare immissione sul mercato e l'ottenimento della marcatura CE.

La terza parte consisterà invece nella descrizione del lavoro più sperimentale. Sarà costituita da un unico capitolo in cui verrà esposto il processo che ha portato alla realizzazione dei diversi campioni di isolante, oltre alla comparazione del nuovo prodotto con quelli già esistenti sul mercato con caratteristiche analoghe e al commento dei risultati ottenuti dall'analisi.

Grazie a tutto il lavoro di ricerca svolto è stato possibile analizzare e individuare interessanti fattori che saranno esposti dettagliatamente nelle conclusioni finali di questa tesi.

2. Cos'è RiceHouse?

RiceHouse s.r.l. è un'azienda riconosciuta come start-up innovativa nel 2016, fortemente votata allo sviluppo, alla produzione e alla commercializzazione di prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico, specificatamente connessi allo sfruttamento dei sottoprodotti della lavorazione del riso.

Nello specifico si occupa di:

- sviluppo e produzione di materiali biocompositi, con particolare attenzione all'utilizzo dei prodotti secondari della produzione agroalimentare con caratteristiche di elevata efficienza energetica ed acustica, comfort abitativo, salubrità degli ambienti, eco-compatibilità e derivanti da filiera corta;
- sviluppo di tecniche di costruzione e procedure di assemblaggio tramite l'impiego di materiali biocompositi, come la paglia e la lolla di riso, con particolare attenzione al risparmio energetico, all'eco-compatibilità, al comfort abitativo ed alla salubrità degli ambienti, finalizzati all'utilizzo e alle applicazioni nel settore edile;
- commercializzazione dei materiali sottoprodotti derivanti dalla filiera agricola del riso da veicolare nel campo dell'edilizia.



Figura 1: Il logo e lo slogan di RiceHouse
(fonte: RiceHouse)

L'azienda si pone l'obiettivo di promuovere un ritorno allo sfruttamento dei residui della coltivazione del riso e sostenere l'utilizzo della paglia e della lolla come materiale da costruzione, al fine di attivare un processo virtuoso dal punto di vista sociale, economico, ambientale, agricolo e architettonico.

L'enorme potenzialità di tutto quello che "resta sul campo" è realmente messa a sistema sviluppando soluzioni concrete e attuabili nell'ottica di far diventare i sottoprodotti dell'agricoltura una risorsa e un giacimento di energia pulita a favore delle comunità in termini socioeconomici e di sviluppo sostenibile.

La paglia, per esempio, oltre ad essere molto più economica di mattoni e cemento, è ottima per il conseguimento dell'efficienza energetica. La lolla calcinata, molto ricca in silice, è assimilabile alla pozzolana per proprietà chimico-fisiche, che ne fanno un materiale estremamente interessante nel campo dell'architettura naturale per le sue caratteristiche di impermeabilità e resistenza agli agenti atmosferici.

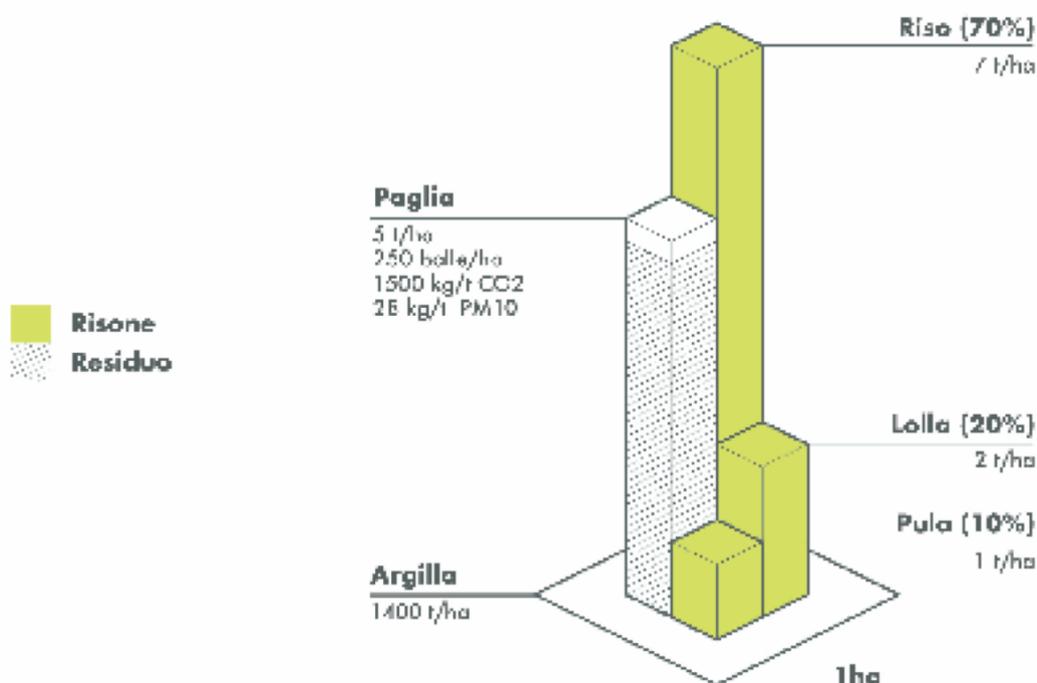


Figura 2: Diagramma a torre su prodotti e sottoprodotti ottenuti dalla coltivazione di 1 ha di risaia (fonte: RiceHouse)

Lo scopo è quello di armonizzare il sistema territoriale centralizzando gli aspetti di raccolta, immagazzinamento e logistica delineando una reale filiera produttiva partendo dalla materia prima, con l'obiettivo di ridurre le perturbazioni nell'approvvigionamento e quindi di rendere i flussi sufficientemente consistenti e continuativi per poter così organizzare il percorso di utilizzo e di impiego industriale; un processo produttivo che salvaguarda le produzioni primarie e le risorse ambientali tutelando, attraverso un sistema di coordinamento, gli interessi e i profitti delle diverse realtà coinvolte. Questo modello coinvolge tutte le figure presenti nella filiera, parte costitutiva del tessuto sociale ed economico che ruota attorno alla produzione del riso, e che ha come conseguenza diretta un effetto interessante in termini di incremento e valorizzazione occupazionale nel territorio vercellese e biellese fortemente votato alla produzione risicola.

RiceHouse si pone come snodo focale di filiera. L'ambito di sviluppo propone di gestire il coordinamento delle attività di produzione della materia prima e si occupa di tutto l'aspetto logistico e di stoccaggio del materiale al fine di fornire l'approvvigionamento continuo e, infine, porsi come front-end nei confronti dei potenziali stakeholders e delle realtà di riferimento del mondo dell'edilizia.

2.1. Valore ambientale, con particolare riferimento alla mitigazione della crisi climatica

Lo sviluppo di politica economica dell'Unione Europea degli ultimi due anni si è fortemente concentrato sui temi della sostenibilità e dei nuovi paradigmi collegati all'economia circolare quali il remanufacturing, la sharing economy e la bioeconomia.

Una nuova economia legata ai prodotti secondari dell'agricoltura assume così un potenziale di sviluppo concreto, trainato dalla diffusa responsabilità ambientale, dall'innovazione tecnologica e dalla crescente necessità di rallentare il prelievo di risorse primarie e l'uso indiscriminato del suolo e dei materiali di origine petrolchimica.

Le materie prime devono essere prelevate, trasformate, utilizzate, smaltite e re-immesse nell'ambiente a cui sono state sottratte. Ad ogni produzione agricola primaria, infatti, è associato un notevole quantitativo di materia secondaria, perlopiù inutilizzata, destinata allo smaltimento, anche se in alcuni casi il valore intrinseco di mercato del materiale risulta potenzialmente superiore ai costi di gestione e trattamento dello stesso se considerato come rifiuto o scarto di produzione. Alcuni di questi materiali, dopo aver pagato le spese di raccolta, deposito, trasporto, di conformità normativa, controlli e certificazioni, possono essere venduti con interessanti margini di profitto.

Nel caso dei sottoprodotti della coltura del riso, la loro gestione diventa addirittura un'attività economica che è in grado di sostenere la propria filiera industriale e di alimentare le esigenze di un mercato innovativo ed emergente.

La paglia di riso è una materia prima diffusa in tutto il globo. Il riso rappresenta infatti il nutrimento principale per oltre la metà della popolazione mondiale. Nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo, i sistemi produttivi basati su colture risicole e l'insieme delle attività post-raccolto a queste associate forniscono lavoro a quasi 1 miliardo di persone, e circa 4/5 di tutto il riso mondiale proviene dalle attività di piccole aziende agricole. Per queste ragioni i sistemi di "produzioni seconde", che intervengono sulle colture del riso efficientandole, sono da considerarsi essenziali.

La paglia, oltre ad essere molto più economica di mattoni e cemento, è ottima per il conseguimento dell'efficienza energetica. La balla ha infatti un basso valore di trasmittanza termica, pari circa a $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$, che si traduce in pratica in una forte capacità isolante, ma è anche un elemento costruttivo capace di portare carichi. Essa garantisce inoltre la perfetta traspirabilità delle pareti in cui viene utilizzata ed evita pertanto fenomeni di condensa superficiale, assicurando un ottimo comfort negli spazi abitativi e un ambiente di vita più sano. E' un materiale biodegradabile, annualmente rinnovabile, maneggiabile con facilità ed il suo costo, in termini di energia combustibile per la raccolta, l'imballaggio e il trasporto in cantiere (energia incorporata) è di gran lunga più basso di qualsiasi altro materiale utilizzato in edilizia. Inoltre, grazie alla fotosintesi, è un materiale capace di assorbire CO_2 dall'atmosfera. Queste caratteristiche fanno della paglia il materiale ideale per una nuova idea di costruire che esprime e traduce concretamente principi di sostenibilità e risparmio energetico.

Lo sfruttamento di questa risorsa non è adeguatamente supportato da una visione complessiva e da una strategia adeguata. La svolta economica non è così semplice né lineare. La discontinuità dei flussi e la volatilità del valore commerciale della paglia stessa ne sono un chiaro esempio. I

flussi della paglia di riso non sono continuativi perché le raccolte avvengono in modo frammentario e sordinato. Molti raccoglitori/gestori competono sugli stessi clienti e ciascuno di loro agisce autonomamente, scegliendo caso per caso la soluzione (apparentemente) più conveniente. Il risultato è che le imprese di costruzione devono improvvisare le loro modalità di approvvigionamento senza alcuna certezza, non riuscendo a pianificare gli investimenti, a razionalizzare gli impieghi e quindi ad organizzare un mercato.

2.2. Contenuto innovativo dell'idea progettuale

La realizzazione di una filiera che abbia a tema la valorizzazione dei prodotti secondari della coltivazione del riso si configura come un veicolo di innovazione, con un elevato grado di sostenibilità e un'ampia potenzialità di sviluppo. Seguendo questo approccio RiceHouse ha sviluppato un percorso imprenditoriale che accoglie le seguenti istanze:

- la gestione delle materie derivanti dalla lavorazione del riso, organizzata a livello territoriale, può diventare un'attività in grado di sostenere una filiera industriale e di alimentare le esigenze di un mercato innovativo ed emergente;
- l'attivazione di un processo strutturato di raccolta/stoccaggio, e quindi di lavorazione, è un passo fondamentale per avere un maggiore peso nell'economia di prodotto e nel riequilibrare i rapporti di forza tra produttori e distributori nei confronti del libero mercato;
- come già accade in altri settori (ad esempio l'agriturismo nel campo della ricettività, il "bio" nella produzione e nel consumo alimentare) anche per la produzione edilizia si tratta di qualificare e "certificare" filiera e prodotto unitamente ai soggetti che prendono parte all'intero processo di recupero dei residui delle lavorazioni primarie;
- a tutela del sistema di attori coinvolti, ma anche per ragioni più strettamente commerciali, favorire la tracciabilità della filiera, cioè la possibilità di sapere con esattezza quali quantità vengono prodotte, raccolte, e trasferite, a quali destinatari e, in comparazione con altri prodotti più tradizionali, con quali impatti;
- alleggerire le imprese agricole da una responsabilità diretta nel trattamento delle materie seconde con vantaggi economici e funzionali;
- risolvere con una risposta virtuosa un problema ambientale direttamente collegato alle pratiche di combustione dei residui in campo e al conseguente aumento dell'inquinamento dell'aria in termini di polveri sottili e CO₂;
- senza ulteriore consumo di suolo, recuperare in maniera sostenibile fabbricati rurali di servizio dispersi nelle campagne e da anni dismessi, per impiegarli come luoghi funzionali destinati allo stoccaggio e alla logistica, riabilitando così il patrimonio non più utilizzato;
- il reimpiego della lolla, della paglia e delle argille disegna un nuovo processo di sviluppo rurale nei 'territori fragili'. Mantenere sul territorio persone, risorse, conoscenze, know-how mobilitandoli come fattori decisivi in un'operazione di rilancio socio-economico, significa mantenere vivi ed attivi questi contesti;
- incentivare le condizioni di sostenibilità delle produzioni agro-alimentari tradizionali disincentivando la sostituzione della risicoltura con pratiche poco sostenibili, come quella del mais;

- valorizzare il legame che si è costruito nel tempo tra materia e territorio, introducendo una leva determinante nelle strategie di marketing territoriale, capace di dare evidenza alla dimensione distrettuale di questa nuova e diversa economia;
- rendere disponibili materiali di costruzione a bassissimo impatto ambientale (energia incorporata) che possano rappresentare un contenuto strategico nella definizione di una architettura a energia quasi zero.

AMBIENTALE	ECONOMICO	SOCIALE
<u>Preservazione della materia prima</u>		
<u>Ottimizzazione del sistema territoriale</u>		
	<u>Rete di raccolta, stoccaggio e trasformazione</u>	
	<u>Connessione di domanda e offerta</u>	
<u>Salvaguardia delle risorse ambientali</u>		
	<u>Favorire la continuità dei flussi</u>	
	<u>Salvaguardia di interessi e profitti degli agricoltori</u>	
<u>Incremento della valorizzazione territoriale</u>		
	<u>Organizzazione e gestione della filiera a livello territoriale</u>	
	<u>Tracciabilità del prodotto</u>	
<u>Valutazione dell'impatto ambientale</u>		
<u>Limitare le emissioni di CO₂ derivanti dai processi di combustione</u>		
<u>Potenziamento del legame tra materia e territorio</u>		
	<u>Strategie di marketing territoriale</u>	
	<u>Materiali naturali per un'architettura possibile</u>	
<u>Ricerca e sviluppo di nuove tecniche costruttive</u>		
	<u>Commercializzazione dei prodotti</u>	

Tabella 1: Risultati attesi tramite la filiera di RiceHouse
(fonte: RiceHouse)

2.3. Risultati economici attesi

L'attività di valorizzazione, messa in pratica mediante l'attuazione dei punti elencati nel precedente paragrafo, ha portato già dal primo anno di costituzione un incremento dell'occupazione direttamente connesso con le attività di raccolta e stoccaggio dei materiali. L'attività promossa ha richiesto l'attivazione di nuovi contratti stagionali e prestazioni conto terzi gestite direttamente nell'ambito delle aziende agricole interessate che hanno conseguentemente aumentato il proprio fatturato sfruttando il trattamento dei materiali che, fino all'anno precedente, erano considerati degli scarti da smaltire.

Questo processo ha avuto come conseguenza la formulazione di accordi commerciali con partner di rilievo nel mondo dell'edilizia naturale con i quali si è aperto un discorso commerciale legato al prodotto di filiera.

La ricerca e lo sviluppo delle conoscenze dei materiali e dei processi costruttivi hanno portato all'individuazione due linee di produzione.

Da un lato con il marchio registrato "Risorsa – abitare in paglia", in collaborazione con Novello s.r.l., RiceHouse propone la realizzazione di un pannello prefabbricato in legno e paglia di riso destinato alla costruzione di case in paglia, secondo un approccio alla bioarchitettura che valorizza gli scarti dell'agricoltura minimizzando la produzione di rifiuti e l'impatto ambientale. NovelloCase, per primo in Italia, sfruttando il know-how di RiceHouse, ha industrializzato il processo di fabbricazione di telai in legno e paglia precompressa, al fine di realizzare case prefabbricate con elevatissime prestazioni energetiche che rispettano gli standard passivi.

Dall'altro lato, grazie alla storica esperienza e competenza nella lavorazione delle calce naturali dell'azienda MGN s.r.l., è stata messa a punto una linea di massetti, intonaci edilizi e finiture a base di calce, cocciopesto, lolla di riso e pula.

Nello specifico, l'intonaco di fondo (denominato RH100) è composto da calce idraulica, calce aerea e lolla di riso, e può essere additivato su richiesta con polveri di marmo e cocciopesto.

Tale prodotto è stato appositamente studiato anche nella variante (RH120) che consente la levigatura al fine di mettere in evidenza l'aspetto estetico del materiale. A questi si aggiunge poi l'intonaco termico (RH110), nella cui miscela sono presenti anche paglia di riso trinciata e pozzolana bianca, che consentono una notevole riduzione del valore di conducibilità termica del materiale finale (da 0,070 a 0,052 W/mK).

L'intonaco di finitura per interni (RH200) o idrofobizzato per esterni (RH210) si compone invece di una miscela di pula di riso e calce idraulica e aerea. Può essere colorato in massa mediante l'aggiunta di terre e polveri di marmo.

Dei prodotti elencati esiste poi la versione avente l'argilla invece della calce come base legante. Nell'intonaco di fondo (RH400) è poi aggiunta della sabbia silicea, mentre nell'intonaco di finitura (RH410) è presente anche una percentuale di calce idraulica e aerea. La versione con colorazione in massa, così come la corrispondente finitura a base di calce, presenta anche terre colorate e polveri di marmo.

La miscela per i massetti (RH310) ha una composizione molto simile a quella dell'intonaco di fondo RH100, con calce naturale e lolla di riso, studiata per essere leggera e a lento indurimento. Il biomassetto per la ripartizione dei carichi pre-pavimentazione (RH330) è composto invece da calce aerea e idraulica, pozzolana, pomice in granuli, cenere di lolla e paglia di riso, che conferiscono notevoli proprietà di leggerezza e di isolamento termo-acustico.

La linea di prodotti si completa con la pittura murale a base di calce di fossa a lunga stagionatura, composta da grassello di calce stagionato in fossa per almeno due anni, polveri carbonatiche micronizzate, metilcellulosa, olio di lino e pula di riso, che conferiscono al prodotto finale una grande plasticità.

Si riportano sotto le tabelle con le caratteristiche tecniche dei principali prodotti citati.

Conducibilità termica	λ 0,07 (W/mK)
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ 5,5 (-)
Adesione	0,1 FP di tipo B (N/mm ²)
Resistenza meccanica alla compressione	classe CS1
Massa volumica apparente della malta indurita	1420 (kg/m ³)
Calore specifico	1500 (J/kgK)
Resistenza termica	R 0,89 (m ² K/W)
Reazione al fuoco	A2
Conduttanza termica	C 1,123 (W/m ² K)
Assorbimento d'acqua	W 0

Tabella 2: Estratto di scheda tecnica di RH100
(fonte: RiceHouse)

Conducibilità termica	λ 0,53 (W/mK)
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ 13 (-)
Resistenza meccanica alla compressione	classe CS1
Massa volumica apparente della malta indurita	1100 (kg/m ³)
Calore specifico	1300 (J/kgK)
Reazione al fuoco	A1
Assorbimento acqua	W0
Adesione al supporto	0,3 N/mm ² FP:B

Tabella 3: Estratto di scheda tecnica di RH200
(fonte: RiceHouse)

Conducibilità termica	λ 0,06 (W/mK)
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ 5 (-)
Adesione	0,1 FP di tipo B (N/mm ²)
Resistenza meccanica alla compressione	classe CS1
Massa volumica apparente della malta indurita	340 (kg/m ³)
Calore specifico	1300 (J/kgK)
Resistenza termica	R 0,828 (m ² K/W)
Reazione al fuoco	A2
Conduttanza termica	C 1,403 (W/m ² K)
Assorbimento acqua	W1

Tabella 4: Estratto di scheda tecnica di RH300
(fonte: RiceHouse)

Conducibilità termica	λ 0,50 (W/mK)
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ 5,9 (-)
Adesione	0,1 FP di tipo B (N/mm ²)
Resistenza meccanica alla compressione	classe CS1
Massa volumica apparente della malta indurita	950 (kg/m ³)
pH	10,5
Resistenza termica	0,581 (m ² K/W)
Reazione al fuoco	A1
Assorbimento d'acqua	da W0 a W2
Granulometria	da 0 a 3 mm

Tabella 5: Estratto di scheda tecnica di RH400
(fonte: RiceHouse)

Tale linea, marchiata RiceHouse, propone soluzioni bioecologiche per l'involucro edilizio ad alta efficienza energetica e salubrità.

Le soluzioni costruttive a base di lolla consentono di raggiungere un elevato risparmio energetico in due modi: l'utilizzo di materiali naturali con un basso livello di energia grigia e la riduzione al minimo del fabbisogno energetico per riscaldare/raffrescare l'edificio, ottimizzandone le prestazioni igrotermiche.

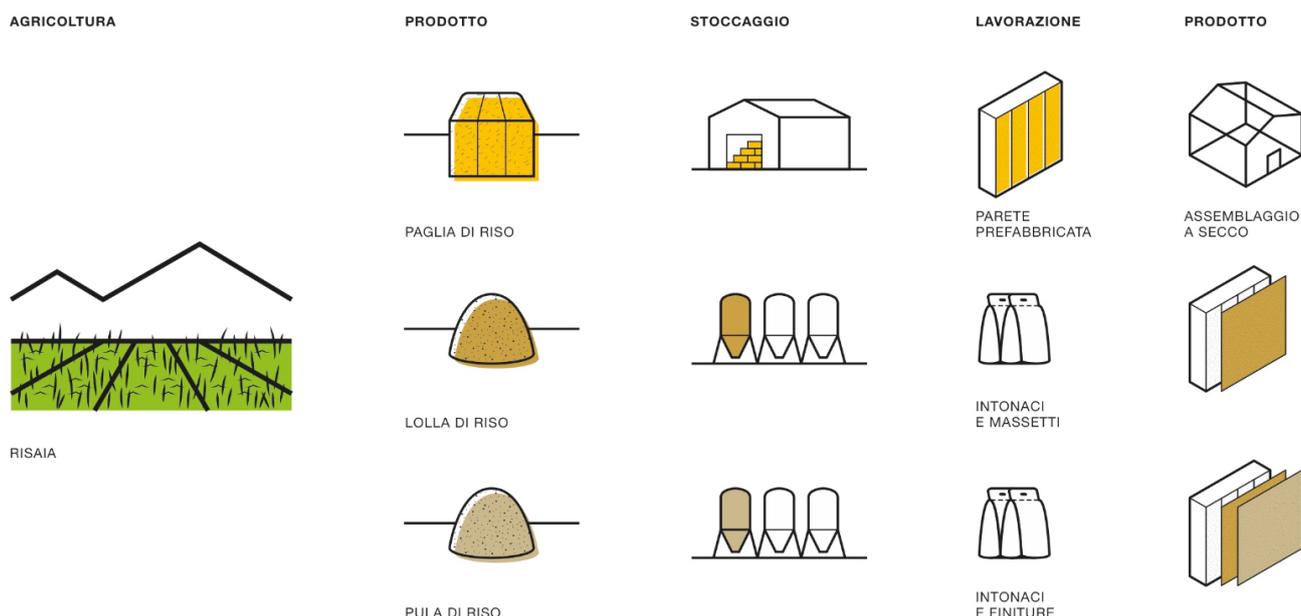


Figura 3: Schema illustrativo della filiera di valorizzazione di RiceHouse
(fonte: RiceHouse)

Il benessere abitativo è diretta conseguenza di un ambiente salubre. I materiali proposti sono traspiranti ed igroscopici e rendono la casa pressoché indifferente alle variazioni climatiche, preservando gli abitanti senza isolarli ermeticamente: la casa respira come una "terza pelle", dopo l'epidermide e gli indumenti.

I prodotti sviluppati sono indirizzati a soddisfare le crescenti esigenze del mercato edile e a risolvere tutte le criticità legate alla cattiva gestione del vapore acqueo e dell'umidità tipica dei materiali convenzionali di origine minerale e sintetica.

2.4. Possibilità di diffusione e prospettiva di sviluppo

L'attività di RiceHouse si rivolge direttamente al mercato edilizio nazionale, in crisi da diverso tempo. In questo periodo è sempre più marcata la necessità di appoggiarsi a nuovi e più competitivi metodi di costruzione, basati su paradigmi completamente diversi che tengano in estrema considerazione i parametri del risparmio energetico. Non è un caso che negli ultimi due anni questi nuovi mercati siano risultati in crescita pur restando enormi i margini di azione e di sviluppo. Basti pensare che, secondo il rapporto di FederlegnoArredo, nel 2014 le case costruite in legno in Italia sono state il 6% delle nuove costruzioni sul territorio nazionale.

L'approccio di filiera, inoltre, è basato su paradigmi esportabili che possono essere calati nelle diverse realtà cerealicole italiane.

La paglia da cereale è lo scarto di produzione più diffuso sul territorio nazionale. In termini mondiali, come già ricordato in precedenza, la coltivazione dei cereali, ed in particolare del riso, rappresenta un'attività che coinvolge più di un miliardo di persone, e la copertura territoriale permetterebbe lo sfruttamento di questa risorsa verde e rinnovabile in grado di soddisfare il principio del diritto all'abitazione per gran parte della popolazione mondiale.

2.5. Premi e riconoscimenti

Riconoscimento per prodotto:

- Finalista **Klimahouse Startup Awards 2018**. Insignita del premio speciale dell'agenzia **Casaclima Startup Award 2018**;
- Vincitrice **Good Energy Award 2018** nella categoria Real Estate;
- Vincitrice del **Premio Sviluppo Sostenibile 2018**, categoria Edilizia Sostenibile;
- Vincitrice del premio **Innov-ability 2019**;
- Menzione al premio **Verso un'economia circolare 2019**;
- Finalista **DGNB Sustainability Challenge 2020**.

Riconoscimento per idea imprenditoriale:

- Vincitrice dell'**ING Challenge 2018**;
- Vincitrice del premio **Best Smart City Vision 2019** a Seeds&Chips, Milano;
- Finalista **BioNike Award 2019**, **Premio Gamma Donna 2019** e **Advanced Materials for Sustainability 2019**;
- Selezionata al **Premio Gaetano Marzotto 2019** tra le start-up vincitrici di un percorso di accelerazione Impact Hub. Finalista **Premio Speciale Italcementi**;
- Vincitrice del **Premio Speciale Repower 2019**;
- Finalista **InnoEnergy Global Call 2019-2020**;
- Vincitrice categoria GreenTech **B-Heroes 2020**.

PARTE PRIMA

In questa prima parte della tesi verrà inizialmente preso in analisi il quadro giuridico generale per quanto riguarda i rifiuti all'interno dei paesi appartenenti all'Unione Europea e il relativo recepimento italiano. Saranno inoltre fornite le definizioni dei principali termini utilizzati all'interno della normativa, il significato del concetto di "End of Waste" con riferimento specifico ai rifiuti organici e il programma per un'economia circolare e un'Europa a zero rifiuti.

Successivamente si parlerà del riso, fornendo informazioni sulla composizione e le proprietà nutritive, la produzione in Italia e nel resto dell'Europa, i tipi di lavorazione che possono essere applicati e, conseguentemente, i sottoprodotti derivanti dalla raccolta fino al prodotto finito. Si arriverà così al tema della paglia di riso, componente principale del pannello oggetto della tesi, la quantità prodotta nei vari paesi europei, la composizione e il confronto rispetto alla paglia di grano, le problematiche legate allo smaltimento e ai possibili riutilizzi e, infine, i progetti già presentati e finanziati dall'Unione Europea.

Si passerà poi all'analisi dei materiali tessili, con una particolare attenzione alle fibre, partendo dalla classificazione in base alla loro natura, per poi passare alle diverse proprietà morfologiche, fisiche, meccaniche, termiche e chimiche che le caratterizzano, e terminando con un breve accenno ai filati, alle superfici tessili, ed ai tessuti non tessuti.

L'ultimo tema trattato, infine, sarà quello delle bioplastiche, mettendo in evidenza i vantaggi del loro utilizzo rispetto alle plastiche convenzionali, la produzione attuale a livello globale, l'utilizzo nei diversi segmenti di mercato, le materie prime utilizzabili per la produzione e il relativo uso di suolo richiesto. Si parlerà inoltre dei benefici ambientali derivanti dalla filiera a ciclo chiuso, delle certificazioni delle bioplastiche e delle relative norme di riferimento e delle diverse etichette che possono garantire al consumatore la sicurezza nell'identificazione del prodotto oltre che una garanzia di qualità. In ultimo, sarà fatto un focus sul PLA, biopolimero molto simile a quello utilizzato come seconda componente fondamentale del pannello oggetto di tale studio.

3. La direttiva quadro sui rifiuti

La politica ambientale, così come quella sui rifiuti, è una competenza condivisa nell'UE. Pertanto, sia l'UE che gli stati membri legiferano in materia di rifiuti. A livello europeo, la Direttiva 2008/98/CE (Waste Framework Directive) è il "cappello" che definisce il quadro giuridico principale per i rifiuti. È stata recepita dagli stati membri nella legislazione nazionale con flessibilità in termini di obiettivi da raggiungere e mezzi per conseguirli.

La WFD riguarda la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento della maggior parte dei rifiuti, inclusi quelli organici. Stabilisce il principio secondo cui gli stati membri devono adottare misure per incoraggiare lo smistamento e la valorizzazione dei rifiuti organici.

Contiene inoltre elementi specifici relativi ai rifiuti biodegradabili (nuovi obiettivi di riciclaggio per i rifiuti domestici, che possono includere quelli organici) e un meccanismo che consente di stabilire criteri di qualità per il compost (criteri di cessazione della qualifica di rifiuto). I criteri relativi alla cessazione della qualifica di rifiuto contribuiscono a creare certezza giuridica e parità di condizioni, nonché a rimuovere inutili oneri amministrativi.

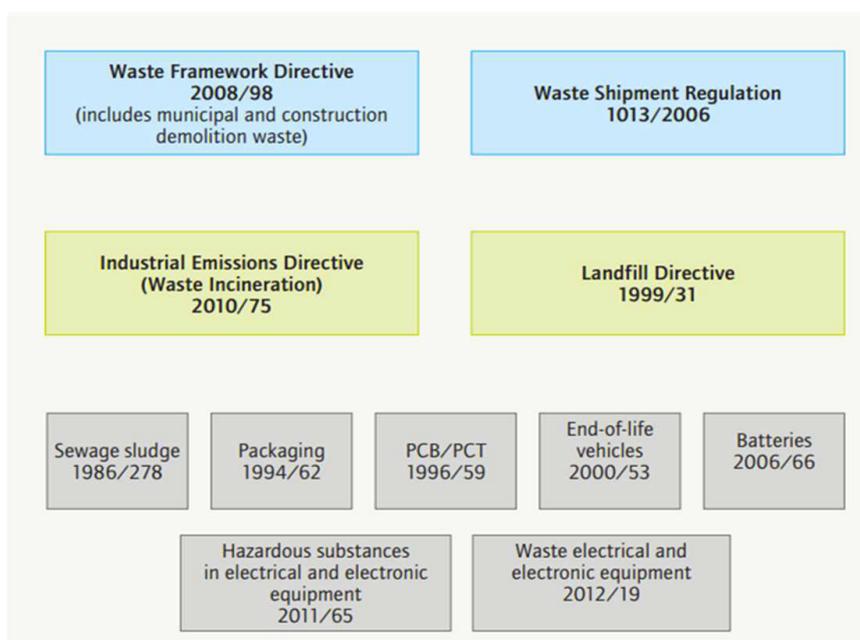


Figura 4: Schema riassuntivo delle diverse direttive europee in tema di rifiuti (fonte: Agrocycle)

La direttiva sulle discariche (Landfill Directive 1999/31/CE) ha imposto agli stati membri di ridurre, attraverso apposite strategie nazionali, la quantità di rifiuti urbani biodegradabili conferiti alle discariche al 35% dei livelli del 1995 entro il 2016 (per alcuni paesi entro il 2020). La direttiva sulle emissioni industriali (Industrial Emissions Directive) stabilisce i principi fondamentali per l'autorizzazione e il controllo degli impianti di trattamento dei rifiuti organici con capacità superiore a 50 tonnellate/giorno.

L'incenerimento dei rifiuti organici è disciplinato dalla direttiva sull'incenerimento dei rifiuti (Waste Incineration Directive), mentre le norme sanitarie relative al compostaggio e agli impianti di biogas sono stabilite nel regolamento sui sottoprodotti di origine animale (Animal By-products Regulation).

3.1. Definizioni

L'articolo 3 della Direttiva 2008/98/CE fornisce diverse definizioni, utili a comprendere esattamente quanto riportato successivamente.

Rifiuto: qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi.

Rifiuto organico: rifiuti biodegradabili di giardini e parchi, rifiuti alimentari e di cucina prodotti da nuclei domestici, ristoranti, servizi di ristorazione e punti vendita al dettaglio e rifiuti simili prodotti dagli impianti dell'industria alimentare.

Prevenzione: misure, prese prima che una sostanza, un materiale o un prodotto sia diventato un rifiuto, che riducono:

- a) la quantità dei rifiuti, anche attraverso il riutilizzo dei prodotti o l'estensione del loro ciclo di vita;
- b) gli impatti negativi dei rifiuti prodotti sull'ambiente e la salute umana; oppure
- c) il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti.

Riutilizzo: qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti.

Recupero: qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale.

Riciclaggio: qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i materiali di rifiuto sono ritrattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il ritrattamento di materiale organico ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento.

Smaltimento: qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia.

3.2. Prevenzione e riciclaggio dei rifiuti

La gerarchia europea dei rifiuti comprende cinque opzioni per la gestione dei rifiuti in ordine decrescente di priorità: prevenzione, riutilizzo, riciclaggio (incluso il compostaggio), recupero (compreso il recupero di energia) e smaltimento (messa in discarica o incenerimento senza recupero di energia). Nell'ambito della WFD, conformemente all'articolo 4 della direttiva 2008/98/CE, la gerarchia dei rifiuti è giuridicamente vincolante.

In linea con questo, il 7° Programma di Azione per l'Ambiente (7th Environment Action Programme) stabilisce cinque obiettivi prioritari per la politica dei rifiuti nell'UE:

- ridurre la quantità di rifiuti prodotti;
- massimizzare il riciclaggio e il riutilizzo;
- limitare l'incenerimento di materiali non riciclabili;
- eliminare gradualmente il conferimento in discarica di rifiuti non riciclabili e non recuperabili;
- garantire la piena attuazione degli obiettivi della politica in materia di rifiuti in tutti gli stati membri.

Mentre la gerarchia della gestione dei rifiuti si applica anche a quelli organici, il trattamento ottimale dipende da una serie di fattori locali, tra cui i sistemi di raccolta, la composizione e la qualità dei rifiuti, le condizioni climatiche, il potenziale utilizzo di diversi prodotti derivati dai rifiuti stessi. Pertanto, le strategie nazionali per la gestione di questi rifiuti dovrebbero essere determinate in modo trasparente e basate su un approccio strutturato e completo come il Life Cycle Thinking (LCT). Al fine di aiutare i responsabili delle decisioni a fare il miglior uso dei rifiuti biodegradabili, in linea con la gerarchia dei rifiuti, la Commissione ha preparato una serie di linee guida su come applicare il Life Cycle Assessment (LCA) e il Life Cycle Thinking al piano di gestione dei rifiuti organici. Nel dicembre 2005 la Commissione ha pubblicato una comunicazione sulla "Strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti". Questo documento intendeva indicare le azioni chiave per modernizzare il quadro giuridico esistente e promuovere la prevenzione, il riutilizzo e il riciclaggio in conformità con l'acquis dell'UE in materia di rifiuti a livello nazionale. I progressi verso gli obiettivi definiti nella strategia sono stati esaminati nel successivo report pubblicato nel 2011.

La strategia Europa 2020 comprende l'obiettivo a lungo termine della politica di gestione dei rifiuti dell'UE: trasformare l'Europa in una società di riciclaggio, evitando la formazione di rifiuti e utilizzando quelli inevitabili come risorsa ovunque sia possibile al fine di garantire una crescita sostenibile dell'economia.

3.3. Cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste)

Il termine "End of Waste", tradotto in italiano in "cessazione della qualifica di rifiuto", si riferisce ad un processo di recupero eseguito su un rifiuto, al termine del quale esso perde tale qualifica per acquisire quella di prodotto.

Per "End of Waste" si deve intendere, quindi, non il risultato finale bensì il processo che, concretamente, permette ad un rifiuto di tornare a svolgere un ruolo utile come prodotto.

A livello pratico, un rifiuto cessa di essere tale quando è stato sottoposto ad un'operazione di recupero e soddisfa le precise condizioni stabilite dall'art. 6 della direttiva quadro, di seguito riportate:

1. la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzata/o per scopi specifici: si deve trattare, cioè, di prodotti diffusi, generalmente applicati in ambiti noti ed atti a svolgere funzioni conosciute e definite;
2. esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto: il fatto che esista un mercato dimostra che difficilmente l'oggetto derivante dal recupero sarà abbandonato;
3. la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti: l'oggetto deve, cioè, poter garantire le prestazioni richieste in concrete condizioni di utilizzo o di consumo, conformemente tanto alle norme di legge quanto alle norme tecniche relative al bene specifico;
4. l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

E' utile, in argomento, precisare che sulla condizione 2 si è pronunciata anche la Commissione UE, la quale, nella Comunicazione al Consiglio e al Parlamento europeo sui rifiuti e sui sottoprodotti del 2007, chiarisce, riprendendo la giurisprudenza della Corte di Giustizia Europea, che "se il materiale risulta invece avere un'utilità, cesserà di essere considerato rifiuto non appena sarà pronto ad essere riutilizzato come prodotto recuperato [...] l'esistenza di contratti a lungo termine tra il detentore del materiale e gli utilizzatori successivi può indicare che il materiale oggetto del contratto sarà utilizzato e che quindi vi è certezza del riutilizzo". Aggiunge poi che "il fatto che un fabbricante possa vendere un determinato materiale ricavandone un profitto indica una maggiore probabilità che tale materiale venga riutilizzato, anche se questo elemento non costituisce un indizio sufficiente": l'eventuale profitto, cioè, non è di per sé indizio del riutilizzo. Non è infatti dirimente il valore economico del materiale, quanto piuttosto il fatto che si possa dimostrare l'utilità dello stesso al pari di qualsiasi altro prodotto, e l'esistenza di contratti a lungo termine che siano in grado di dimostrare che il materiale sarà certamente utilizzato in modo da escluderne l'abbandono o lo smaltimento illegale depono, logicamente, in tal senso.

Soddisfatte contestualmente tutte le condizioni di cui al citato art. 6, l'oggetto risultante dal processo di recupero non è più rifiuto in quanto è oggettivamente divenuto un prodotto. Si tenga presente che, con riferimento al concetto di recupero, la direttiva apre espressamente alla possibilità di qualificare come operazione di recupero anche quella di controllare i rifiuti per verificare se soddisfano i criteri volti a definire quando un rifiuto cessa di essere tale.

3.4. Il programma End of Waste per i rifiuti organici

Il programma End of Waste si approccia alla tematica dei rifiuti organici a partire dall'individuazione delle diverse categorie. La ripartizione è basata su rifiuti solidi urbani (RSU) e non, che possono essere sottoposti a fermentazione, digestione e compostaggio.

Di seguito le due macro-categorie:

1. Frazioni biodegradabili di rifiuti solidi urbani: comprende rifiuti provenienti da abitazioni private e rifiuti analoghi da altri stabilimenti che i comuni raccolgono insieme ai rifiuti domestici.

2. Altri rifiuti biodegradabili: possono essere compostati da soli o insieme alla frazione biodegradabile di RSU.
- rifiuti alimentari commerciali, non raccolti come parte dei RSU:
 - rifiuti da mercati
 - rifiuti di ristorazione;
 - residui forestali:
 - corteccia
 - scarti di legno;
 - rifiuti dall'agricoltura:
 - escrementi di zootecnia (letame solido e liquido)
 - residui di paglie
 - scarti da barbabietole da zucchero e patate
 - residui di crescita di fagioli, piselli, lino e verdure
 - compost di funghi;
 - rifiuti dell'industria alimentare e delle bevande
 - residui da birrerie e maltifici
 - residui da aziende vinicole
 - residui da industrie per la produzione di frutta e verdura
 - residui da industrie per la lavorazione di patate e fecola
 - residui di barbabietola da zucchero
 - residui da macelli
 - residui da produzione di carne o siero di latte;
 - fanghi di depurazione (derivati dal trattamento biologico delle acque reflue).

Riguardo il ciclo di vita dei rifiuti organici, esistono tre principali direttive europee che determinano quantità e tipologie richieste per ulteriori utilizzi, come ad esempio per la produzione di compost o biochar. Regolando lo smaltimento di rifiuti inerti, pericolosi e non, la direttiva sulle discariche (1999/31/CE) mira a prevenire e ridurre gli effetti negativi dei rifiuti collocati in discarica sull'ambiente, nella prospettiva sia a breve che a lungo termine.

Ha infatti imposto che i rifiuti biodegradabili destinati alle discariche venissero ridotti del:

- 25% entro il 16 luglio 2006
- 50% entro il 16 luglio 2009
- 65% entro il 16 luglio 2016

rispetto alla quantità totale di rifiuti urbani biodegradabili prodotti nel 1995.

3.5. Il recepimento italiano

La Direttiva 2008/98/CE è stata recepita a livello italiano dal d.lgs. 205/2010, aggiornamento della parte IV del d.lgs. 152/2006, il cosiddetto Testo Unico Ambientale.

Esso consta di 39 articoli e 5 allegati che, oltre ad integrare nella disciplina nazionale i principi e i contenuti della direttiva europea, provvedono anche a coordinare la disciplina stabilita del Testo Unico Ambientale in materia di rifiuti con il "Sistri", il sistema di controllo della tracciabilità dei rifiuti.

3.6. Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti

L'UE si è proiettata verso il passaggio dal tradizionale modello di "crescita lineare" (prendi, produci, usa e getta), basato sul presupposto che le risorse siano abbondanti, disponibili, accessibili ed eliminabili a basso costo, ad un modello di "crescita circolare", in cui i rifiuti diventano una risorsa.

L'economia circolare è una delle tappe fondamentali della "Iniziativa faro sull'efficienza delle risorse" e della "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente sotto il profilo delle risorse" del 2011, in cui si leggeva:

"entro il 2020 i rifiuti saranno gestiti come una risorsa. I rifiuti pro-capite saranno in fase di netto declino. Il riciclaggio e il riutilizzo dei rifiuti saranno opzioni economicamente interessanti per gli operatori pubblici e privati, grazie alla diffusione della raccolta differenziata e allo sviluppo di mercati funzionali per le materie prime secondarie. Sarà riciclata una quantità maggiore di materiali, inclusi quelli che hanno un impatto ambientale considerevole e le materie prime essenziali. La legislazione in materia di rifiuti sarà pienamente applicata. Le spedizioni illecite di rifiuti saranno state completamente eliminate. Il recupero di energia sarà limitato ai materiali non riciclabili, lo smaltimento in discarica praticamente eliminato e sarà garantito un riciclaggio di alta qualità."

Due anni dopo, il settimo programma generale di azione dell'UE in materia di ambiente fino al 2020, intitolato; "Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta", ha proposto la seguente visione dell'UE nel 2050:

"Nel 2050 vivremo bene nel rispetto dei limiti ecologici del nostro pianeta. Prosperità e ambiente sano saranno basati su un'economia circolare senza sprechi, in cui le risorse naturali sono gestite in modo sostenibile e la biodiversità è protetta, valorizzata e ripristinata in modo tale da rafforzare la resilienza della nostra società. La nostra crescita sarà caratterizzata da emissioni ridotte di carbonio e sarà da tempo sganciata dall'uso delle risorse, scandendo così il ritmo di una società globale sicura e sostenibile".

Il passaggio ad un'economia circolare richiederà profondi cambiamenti, sia nel sistema produttivo che nella società, come specificato nella comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni n. 398 del 2014, intitolata "Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti": "Per passare ad un'economia più circolare occorre apportare cambiamenti nell'insieme delle catene di valore, dalla progettazione dei prodotti ai modelli di mercato e di impresa, dai metodi di trasformazione dei rifiuti in risorse alle modalità di consumo: ciò implica un vero e proprio cambiamento sistemico e un forte impulso innovativo, non solo sul piano della tecnologia, ma anche dell'organizzazione, della società, dei metodi di finanziamento e delle politiche".

Il programma che si è data la Commissione europea per accompagnare questo cambiamento è articolato in tre pilastri:

1. istituzione di un quadro strategico favorevole all'emergere dell'economia circolare, ricorrendo a misure che combinino la regolamentazione intelligente, strumenti basati sul mercato, la ricerca e l'innovazione, incentivi, lo scambio di informazioni e il sostegno a iniziative volontarie;
2. progettazione e innovazione al servizio di un'economia circolare, sia agevolando lo sviluppo di modelli più circolari per i prodotti e i servizi, in particolare mediante una politica

dei prodotti più coerente e il rafforzamento delle norme sulla progettazione ecocompatibile, sia favorendo l'adozione del "principio della cascata nell'uso sostenibile della biomassa", tenendo conto di tutti i settori che impiegano biomassa, affinché questa risorsa possa essere utilizzata nella maniera più efficiente possibile;

3. sblocco degli investimenti nelle soluzioni dell'economia circolare, mediante diversi interventi combinati:
 - strumenti finanziari innovativi per ridurre i rischi per gli investitori;
 - sviluppo degli appalti pubblici verdi, con l'obiettivo indicativo di assegnare attraverso criteri di valutazione "green" almeno il 50% di appalti pubblici;
 - integrare maggiormente le priorità dell'economia circolare nelle strategie di finanziamento dell'UE e incoraggiare gli stati membri a utilizzare i fondi europei disponibili per finanziare programmi e progetti di economia circolare, in particolare tramite i Fondi strutturali e d'investimento europei 2014-2020.

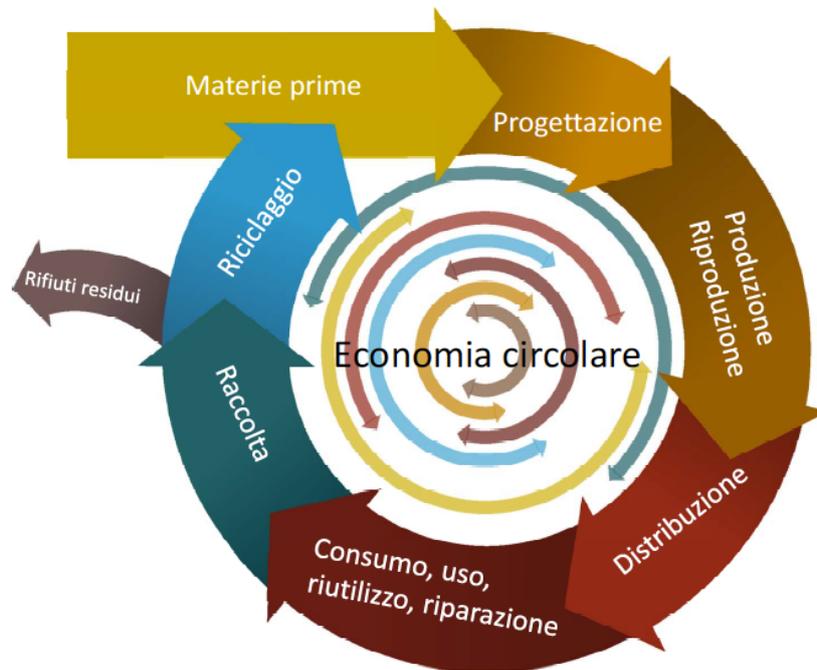


Figura 5: Modello di economia circolare
(fonte: COM(2014) 398 final)

Il diagramma soprastante illustra il modello di economia circolare schematizzandone le fasi principali, ciascuna delle quali offre opportunità in termini di taglio dei costi, minore dipendenza dalle risorse naturali, impulso a crescita e occupazione, nonché contenimento dei rifiuti e delle emissioni dannose per l'ambiente. Le fasi sono interdipendenti, in quanto le materie possono essere utilizzate a cascata: ad esempio, le imprese si scambiano i sottoprodotti, i prodotti sono rimessi a nuovo o rifabbricati, oppure i consumatori optano per sistemi prodotti-servizi. Per garantire il funzionamento ottimale del sistema occorre evitare, per quanto possibile, che le risorse escano dal circolo.

La prevenzione dei rifiuti, la progettazione ecocompatibile, il riutilizzo e misure analoghe potrebbero far risparmiare 600 miliardi di euro netti alle imprese dell'UE, ossia l'8% del loro fatturato annuale, riducendo nel contempo le emissioni totali annue di gas serra del 2-4%.

4. Il riso

Il riso (***Oryza sativa***) è un cereale della famiglia delle graminacee, in grado di fornire l'apporto giornaliero di calorie a più di un terzo della popolazione mondiale.

Originario dell'Asia, dove si stima venga coltivato dal 6500 a.C., viene ora prodotto anche nella maggior parte delle regioni tropicali e subtropicali, crescendo da una latitudine di 53° N in Cina, fino a 35° S in Australia.

Le condizioni ottimali per la coltivazione e la crescita del riso sono le seguenti:

- 20-30°C di temperatura media giornaliera;
- temperatura notturna non inferiore ai 15 °C;
- terreno fertile e argilloso;
- pH del terreno variabile tra 6,5 e 7.

La maggior parte delle varietà deve essere piantata sommersa in acqua e richiede circa 200 mm di precipitazioni mensili o un quantitativo equivalente per irrigazione.

All'estremità superiore della pianta del riso, alta da 50 cm a 1 m, si sviluppano delle infiorescenze a pannocchia che raggiungono una lunghezza di 30-50 cm. Ogni pannocchia produce circa 150 cariossidi (chicchi). Alcune nuove varietà coltivate generano fino a 300 chicchi per pannocchia.

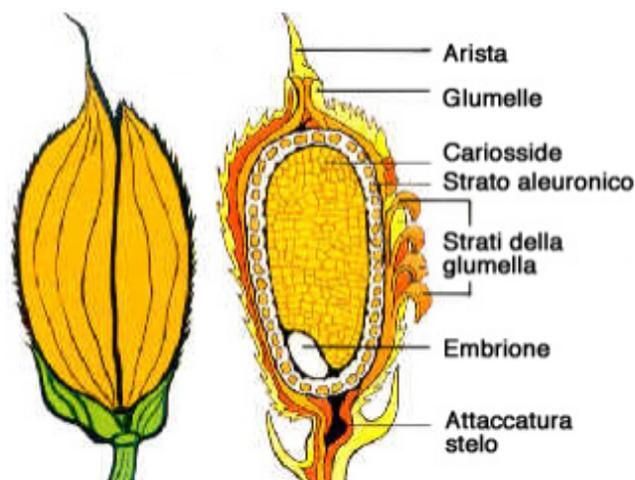


Figura 6: Parti componenti la cariosside del riso
(fonte: <http://biodiversipedia.pbworks.com>)

Nel mondo sono coltivate diverse varietà di riso, a seconda della genetica, degli ecotipi e della morfologia. Sebbene le varietà di riso siano state ampiamente studiate per le loro molteplici caratteristiche agronomiche, come ad esempio la resa, diverse non sono state ancora accuratamente esaminate sulla base di differenze quali il profilo nutrizionale e la biodisponibilità.

4.1. Proprietà

Il riso brillato (il più comune), è caratterizzato da un contenuto in carboidrati pari circa al 79%, in proteine al 7% circa e in lipidi per circa lo 0,6%. Le proteine sono tuttavia localizzate nel rivestimento della cariosside e con esso vengono per la maggior parte perse durante il processo di brillatura. Il riso, fra tutti i cereali, è l'alimento più completo: 100 g forniscono 350 kcal, con un notevole contenuto di fibre, vitamine e sali minerali. La sua digeribilità è superiore a quella degli altri cereali, tanto da essere assimilato in 60/100 minuti. Il riso contiene acidi grassi essenziali: acido linoleico fra il 29-42%, e acido linolenico fra 0,8-1%. E' privo di glutine ed è quindi un alimento prezioso per i soggetti celiaci.

Uno degli aspetti negativi del riso è che manca di vitamina A e questo, nei paesi in cui è più consumato e non integrato con altri alimenti, può essere causa di gravi problemi per la costituzione delle ossa, degli organi riproduttivi, per le difese immunitarie e per la vista.

Parte costitutiva	Assimilazione	Riso integrale	Riso bianco	Riso parboiled
Acqua	in%	13,1	12,9	12,0
Calorie	kJ (kcal)	1455 (345)	1457 (347)	1441 (345)
Proteine	g/100	7,3	6,9	6,5
Grassi	g/100	2,2	0,6	0,5
Carboidrati	g/100	73,4	78,6	78,4
Fibre nutritive	g/100	2,6	1,4	1,4
Sostanze minerali	g/100	1,2	0,5	-
Calcio	mg/100	24	6	24
Fosforo	mg/100	325	120	94
Ferro	mg/100	2,6	0,6	2,9
Potassio	mg/100	150	104	92
Sodio	mg/100	-	-	-
Tiamina (vit. B1)	mg/100	0,41	0,06	0,44
Riboflavina (vit. B2)	mg/100	0,09	0,03	0,03

Tabella 6: Valori nutritivi del riso
(fonte: la Riseria)

4.2. Produzione e consumo in Italia

Secondo i dati relativi all'anno 2017 forniti dall'Ente Nazionale Risi, ente pubblico economico sottoposto alla vigilanza del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, che svolge un'intensa attività mirante alla tutela di tutto il settore risicolo, l'Italia è il maggior produttore europeo di riso con i suoi 234 mila ettari coltivati a riso, 1,5 milioni di tonnellate di riso prodotto annualmente, 4.265 aziende risicole, 100 industrie risiere, per un fatturato annuo di 1 miliardo di euro.

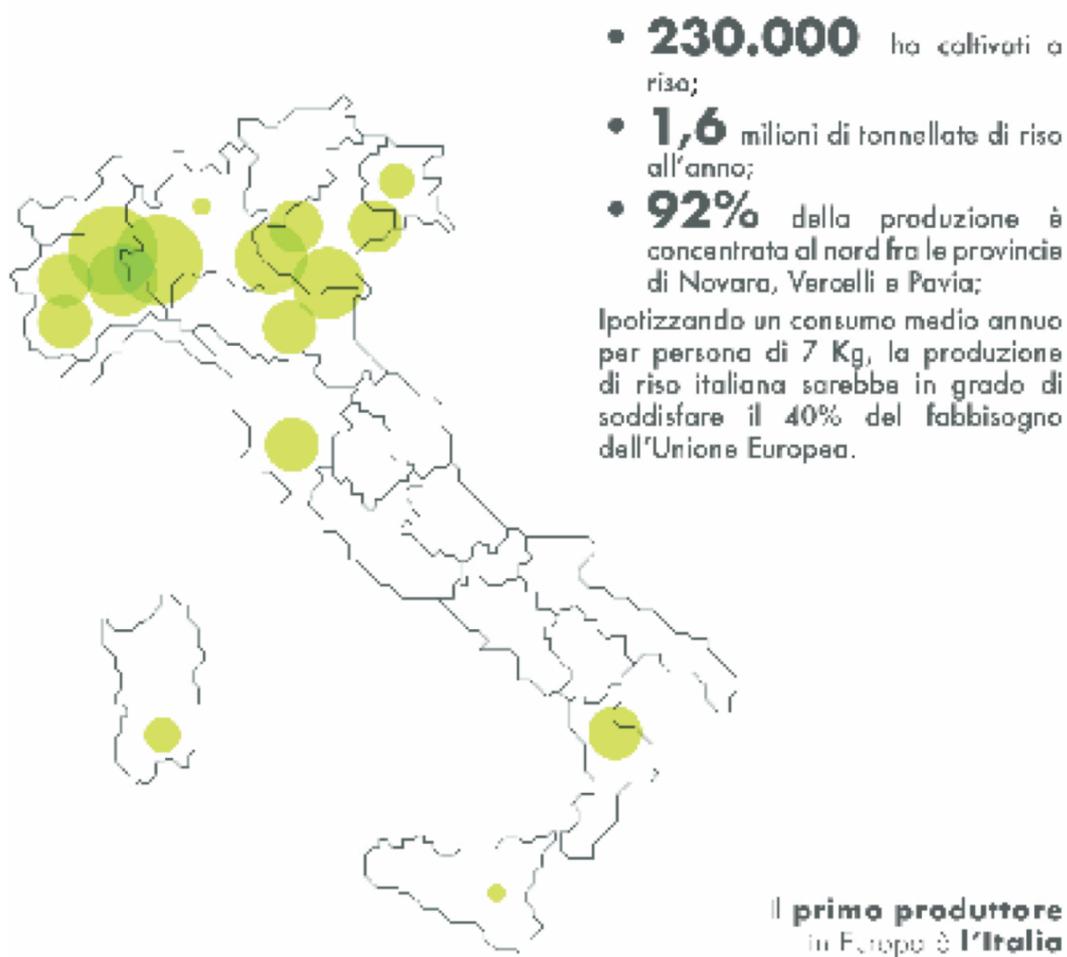


Figura 7: Distribuzione delle risaie sul territorio italiano
(fonte: RiceHouse)

Copre rispettivamente il 52% della superficie ed il 50% della produzione risicola europea (0,38% di quella mondiale).

Il 92% della superficie risicola italiana è concentrata nelle regioni Piemonte e Lombardia, in particolare nelle province di Pavia, Vercelli e Novara.

Il consumo medio pro-capite di riso annuale in Italia è di circa 5 kg, più elevato rispetto ai 3,7 kg dell'UE, ma enormemente inferiore, ad esempio, rispetto ai 152 kg/annui dei cambogiani o ai 140 kg/annui di vietnamiti e thailandesi.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Media
Belgio	0	0	0	0	0	0	0
Bulgaria	57.430	59.620	54.900	56.120	54.160	67.680	58.318
Rep. Ceca	0	0	0	0	0	0	0
Danimarca	0	0	0	0	0	0	0
Germania	0	0	0	0	0	0	0
Estonia	0	0	0	0	0	0	0
Irlanda	0	0	0	0	0	0	0
Grecia	229.490	254.990	215.520	259.490	229.320	251.150	239.993
Spagna	927.820	927.550	899.600	876.630	861.100	847.030	889.955

Francia	115.050	130.400	123.220	80.860	83.410	80.860	102.300
Croazia	0	0	0	0	0	0	0
Italia	1.671.820	1.497.040	1.594.480	1.433.110	1.415.730	1.518.250	1.521.738
Cipro	0	0	0	0	0	0	0
Lettonia	0	0	0	0	0	0	0
Lituania	0	0	0	0	0	0	0
Lussemburgo	0	0	0	0	0	0	0
Ungheria	5.890	9.020	11.280	8.640	7.920	9.410	8.693
Malta	0	0	0	0	0	0	0
Olanda	0	0	0	0	0	0	0
Austria	0	0	0	0	0	0	0
Polonia	0	0	0	0	0	0	0
Portogallo	170.220	185.020	187.030	180.160	167.320	184.920	179.112
Romania	61.590	65.260	50.860	54.650	45.160	49.770	54.548
Slovenia	0	0	0	0	0	0	0
Slovacchia	0	0	0	0	0	0	0
Finlandia	0	0	0	0	0	0	0
Svezia	0	0	0	0	0	0	0
Regno Unito	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 7: Tonnellate di riso raccolto negli stati dell'UE dal 2010 al 2015
(fonte: Agrocycle)

4.3. Lavorazione e sottoprodotti

Dopo la mietitura, il riso grezzo, detto anche risone, viene trasportato in riseria per la trasformazione attraverso le successive operazioni atte a liberarlo dalle parti tegumentali, le glume e le glumelle, che andranno a costituire la lolla e la pula. A questo punto del procedimento, l'embrione è ancora in grado di germinare, per cui i chicchi sono anche adatti alla semina.

In alcuni paesi, la lavorazione del riso per il consumo locale viene ancora eseguita in un'unica fase. Il prodotto derivante da tale procedimento è una miscela di lolla e pula che raramente viene commercializzata, in quanto più spesso viene restituita ai risicoltori.

Nelle riserie su larga scala il riso grezzo subisce diversi processi, a seconda del tipo di prodotto che si intende ottenere:

- **pulitura:** rimuove tutte le sostanze estranee, come ad esempio paglia, sassi, terra, fili d'erba ecc., mediante l'utilizzo di setacci e soffiatori.
- **sbramatura:** viene effettuata con due dischi a smeriglio (sbramino), ruotanti in senso contrario e ad adeguata distanza, che rompono le glumelle senza intaccare il granello.

Prodotto ottenuto: riso semigreggio, detto anche integrale;

Sottoprodotto ottenuto: lolla di riso.

- **sbiancatura o raffinatura:** prevede uno o più passaggi nella sbiancatrice, in cui due coni (uno dentro l'altro) ricoperti da una superficie smerigliata tolgono i residui delle glumelle. A seconda del numero di passaggi si ottengono diversi gradi di raffinazione.

Prodotto ottenuto: riso semilavorato;

Sottoprodotto ottenuto: pula di riso.

- **lucidatura:** compiuta in macchinari simili alle sbiancatrici ma con coni rivestiti da strisce di cuoio, ha lo scopo di rendere il chicco più bianco e levigato. Il riso così ottenuto ha perso una parte del granello amidaceo (endosperma).

Prodotto ottenuto: riso lavorato o raffinato;

Sottoprodotto ottenuto: pula di riso.

- **selezione e confezionamento:** la miscela di riso e della rottura di riso (riso scartato in quanto costituito da chicchi rotti o macinati) proveniente dalla lucidatura, viene separata con setacci e successivamente mischiata in proporzioni corrispondenti allo standard in cui il riso deve essere venduto.
- **parboilizzazione:** viene effettuata su alcune varietà di riso per facilitare la rimozione della lolla e migliorare la conservazione dei chicchi. Il riso greggio passa innanzitutto in un contenitore sottovuoto per l'estrazione dell'aria. Viene quindi immerso in acqua tiepida, affinché le vitamine e le sostanze minerali contenute nella pellicola argentea si sciolgano. Successivamente, le sostanze nutritive disciolte vengono pressate all'interno del chicco sotto forte pressione idraulica e l'amido del riso presente sulla superficie del chicco viene indurito mediante del vapore ad alta pressione, formando una sorta di guscio che trattiene all'interno le sostanze nutritive. Infine, il riso viene essiccato.

E' poi possibile effettuare altri due processi, utili a dare al riso un aspetto più gradevole, ma con perdita di principi nutritivi:

- **brillatura:** prevede un trattamento con talco o glucosio, che fornisce il riso brillato;
- **oliatura:** si ricopre il riso raffinato con un sottile strato di olio di lino o vaselina; il riso così ottenuto è anche detto camolino.

La percentuale dei sottoprodotti dipende dal grado di molitura, dalla varietà di riso e da altri fattori. Si può tuttavia fornire un'idea approssimativa delle proporzioni: lolla 20%; pula 10%, derivanti dalla lucidatura 3%; rottura di riso 1-17%; riso brillato 50-66%.

I mangimi provenienti dalle riserie, una miscela di tutti i sottoprodotti ottenuti nella lavorazione del riso, contengono circa il 60% di lolla, il 35% di pula e il 5% di derivanti dalla lucidatura. La miscela proveniente dalla lavorazione del riso ad un'unica fase ha una composizione simile.

Più di 660 milioni di tonnellate di risone vengono raccolte ogni anno in tutto il mondo; questo consente la produzione di circa 421 milioni di tonnellate di riso integrale che viene ulteriormente lavorato per produrre circa 372 milioni di tonnellate di riso bianco destinato al consumo umano (Kahlon, 2009). Ciò comporta una produzione globale che varia da 66 a 74 milioni di tonnellate di pula di riso, disponibile per l'uso in alimenti per animali da allevamento e animali domestici, alimenti per l'uomo, o che viene scartata come rifiuto.

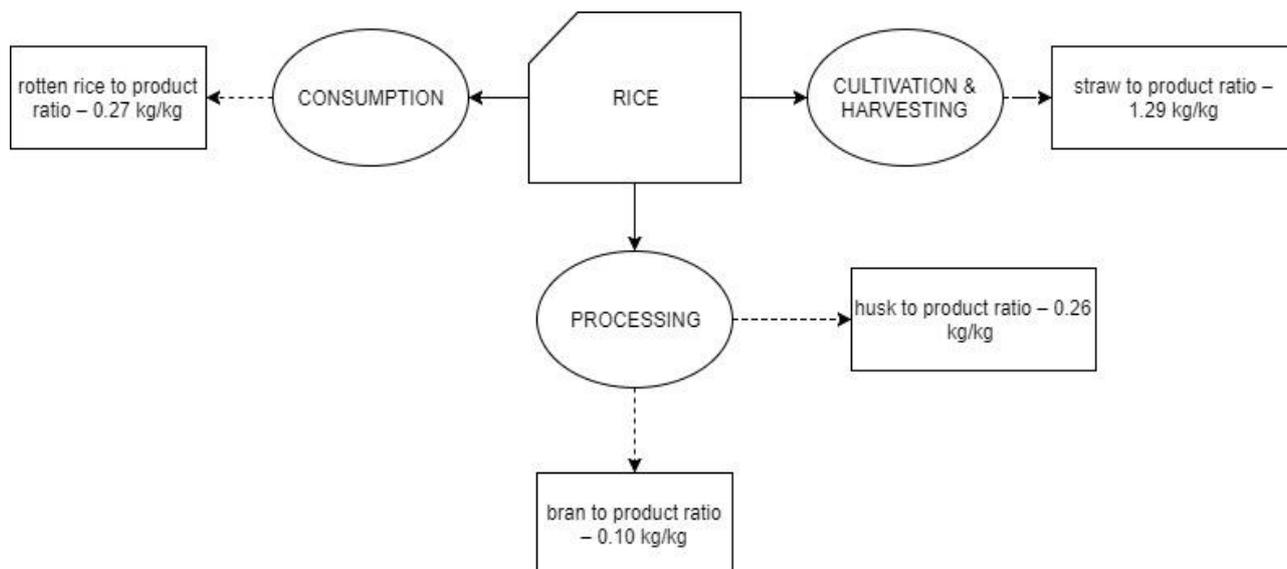


Figura 8: Diversi tipi di scarto che si ottengono dalla raccolta e dalla lavorazione del riso, e le rispettive quantità rapportate ad 1 kg di prodotto finito (fonte: Agrocycle)

4.4. Paglia di riso

La paglia di riso è la parte vegetativa della pianta del riso, tagliata durante la mietitura del cereale o in fase successiva. Contiene meno lignina di altri tipi di paglia, ma ha un contenuto di silice più elevato che si concentra nelle foglie piuttosto che nello stelo.

La qualità della paglia di riso dipende da molteplici fattori: la varietà di riso, il tempo tra la raccolta e lo stoccaggio, l'uso di fertilizzanti azotati, il grado di maturazione delle piante (il contenuto di lignina aumenta al maturare della pianta), la salute delle piante e le condizioni meteorologiche.

È una buona fonte di energia, ma possiede un basso contenuto di proteine (2-7%) e il suo alto contenuto di silice si traduce in una scarsa digeribilità; per questo motivo è considerata una fibra di bassa qualità nella zootecnia.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Media
Bulgaria	74.085	76.910	70.821	72.395	69.866	87.307	75.231
Grecia	296.042	328.937	278.021	334.742	295.823	323.984	309.591
Spagna	1.196.888	1.196.540	1.160.484	1.130.853	1.110.819	1.092.669	1.148.042
Francia	148.415	168.216	158.954	104.309	107.599	104.309	131.967
Italia	2.156.648	1.931.182	2.056.879	1.848.712	1.826.292	1.958.543	1.963.042
Ungheria	7.598	11.636	14.551	11.146	10.217	12.139	11.214
Portogallo	219.584	238.676	241.269	232.406	215.843	238.547	231.054
Romania	79.451	84.185	65.609	70.499	58.256	64.203	70.367

Tabella 8: Tonnellate di paglia di riso prodotte negli stati dell'UE dal 2010 al 2015 (fonte: Agrocycle)

4.4.1. Composizione

Di seguito, si riporta un esempio dei risultati di analisi di paglia di riso tratte dal database olandese ECN Phyllis2 (Database for biomass and waste).

Paglia di riso				
	unità	umida	secca	secca priva di ceneri
umidità	% in peso	11,73		
ceneri	% in peso	17,79	20,15	
materie volatili	% in peso	57,92	65,62	82,18
carbonio fisso	% in peso	12,56	14,23	17,82
Macroelementi	unità	umida	secca	secca priva di ceneri
Carbonio	% in peso	34,64	39,24	49,15
Idrogeno	% in peso	4,39	4,97	6,23
Azoto	% in peso	1,12	1,27	1,59
Zolfo	% in peso	0,09	0,10	0,13
Ossigeno	% in peso	29,69	33,64	42,13
Tot. Inclusi alogeni	% in peso	100,00	100,00	100,00
Potere Calorifico	unità	umida	secca	secca priva di ceneri
NCV (P.C. netto)	MJ/kg	11,77	13,66	17,11
GCV (P.C. lordo)	MJ/kg	13,01	14,74	18,47

Tabella 9: Risultati di analisi di paglia di riso
(fonte: ECN Phyllis2)

Sempre tratta dalla stessa fonte, si riporta un esempio di analisi delle ceneri della paglia di riso, da cui è evidente come il contenuto in silice di questa biomassa sia molto elevato:

Ceneri paglia di riso		
P₂O₅	% in peso	1,67
SiO₂	% in peso	80,68
Fe₂O₃	% in peso	0,88
Al₂O₃	% in peso	1,49
CaO	% in peso	1,97
MgO	% in peso	2,05
Na₂O	% in peso	0,74
K₂O	% in peso	5,72

Tabella 10: Risultati di analisi delle ceneri della paglia di riso
(fonte: ECN Phyllis2)

A titolo di raffronto, si riporta un'analisi della paglia di grano e delle relative ceneri, tratte dal medesimo database:

Paglia di grano				
	unità	umida	secca	secca privo di ceneri
umidità	% in peso	13,01		
ceneri	% in peso	8,31	9,55	
materie volatili	% in peso	61,68	71,11	78,62
carbonio fisso	% in peso	16,82	19,34	21,38
Macroelementi	unità	umida	secca	secca privo di ceneri
Carbonio	% in peso	37,32	42,90	47,43
Idrogeno	% in peso	4,45	5,11	5,65
Azoto	% in peso	0,46	0,53	0,59
Zolfo	% in peso	0,25	0,29	0,32
Ossigeno	% in peso	34,41	39,56	43,74
Tot. Inclusi alogeni	% in peso	100,00	100,00	100,00
Potere Calorifico	unità	umida	secca	secca privo di ceneri
NCV (P.C. netto)	MJ/kg	13,35	15,71	17,37
GCV (P.C. lordo)	MJ/kg	14,64	16,83	18,61

Tabella 11: Risultati di analisi di paglia di grano
(fonte: ECN Phyllis2)

Ceneri paglia di grano		
P₂O₅	% in peso	2,04
SiO₂	% in peso	37,06
Fe₂O₃	% in peso	0,84
Al₂O₃	% in peso	2,23
CaO	% in peso	4,91
MgO	% in peso	2,55
Na₂O	% in peso	9,74
K₂O	% in peso	21,7

Tabella 12: Risultati di analisi delle ceneri della paglia di grano
(fonte: ECN Phyllis2)

Come si vede, l'umidità, le ceneri e il contenuto in silice (SiO₂) risultano molto inferiori nella paglia di grano rispetto a quella di riso, confermando come si tratti di due materiali apparentemente simili, ma con caratteristiche chimiche e fisiche ben diverse. Anche il periodo di raccolta differente dei due tipi di paglie contribuisce alla non confrontabilità tra i due residui.

4.4.2. Trattamento e possibili utilizzi

La paglia di riso è un residuo agricolo che presenta un recupero relativamente problematico. La raccolta, che deve avvenire dopo quella del prodotto principale, si effettua infatti nel periodo tardo autunnale, contraddistinto da un'elevata piovosità, spesso su terreni con difficoltà di sgrondo delle acque e in condizioni di costante elevata umidità ambientale, che ostacola l'essiccazione in campo. Inoltre, come confermato dai risultati delle analisi sopra riportate, è caratterizzata da un altissimo contenuto in silice (SiO_2) che la rende inadatta per l'alimentazione animale in quanto scarsamente digeribile.

Può essere utilizzata come biocombustibile da sola o miscelata con altre biomasse in caldaie impiegate in combinazione con turbine a vapore per produrre energia elettrica e termica. Con un'umidità prossima al 10%, possiede un contenuto energetico di 14 MJ per kg. I problemi principali legati alla combustione delle biomasse erbacee e, in modo particolare, della paglia di riso sono rappresentati dal fouling (incrostazione), dallo slagging (scorificazione) e dalla corrosione della caldaia a causa del contenuto alcalino e di composti a base di cloro nelle ceneri. La composizione chimica delle materie prime ha una grande influenza sul rendimento della combustione. La bassa qualità della paglia di riso come combustibile è determinata principalmente da un elevato contenuto di ceneri (il 20% circa), circa doppio di quello della paglia di grano, nonché dall'alto contenuto di silice delle ceneri stesse (che ne rende anche più problematica e costosa la tranciatura). La paglia di riso ha tuttavia il vantaggio di avere un basso contenuto totale di alcali (circa un terzo rispetto a quella di grano).

Il paese che ha attualmente maggiore esperienza di impianti alimentati a paglia è la Danimarca, dove tale scarto agricolo svolge un ruolo di fondamentale importanza nel piano nazionale di energie rinnovabili. La tecnologia attualmente sviluppata prevede impianti in grado di funzionare con combustibili alcalini e la disponibilità di sistemi di movimentazione che minimizzano i costi di raccolta e movimentazione del combustibile.

La metodologia più classica utilizzata per la combustione consiste nell'inserire nella caldaia la paglia imballata. L'alimentatore per balloni più diffuso è probabilmente il cosiddetto sistema di "alimentazione a sigaro" della Babcock e Wilcox-Vølund, dove le balle di paglia vengono spinte in maniera diretta nella camera di combustione. L'azienda danese è in grado di adattare le caratteristiche degli impianti sulla base di quelle del combustibile utilizzato, così da ridurre problemi legati alla cattiva combustione ed alla eccessiva produzione di ceneri. Queste ultime infatti, se accumulate nelle aree con i più elevati carichi termici, aiutano a proteggere l'impianto dalla corrosione dovuta alla presenza di cloruri ad alte temperature.

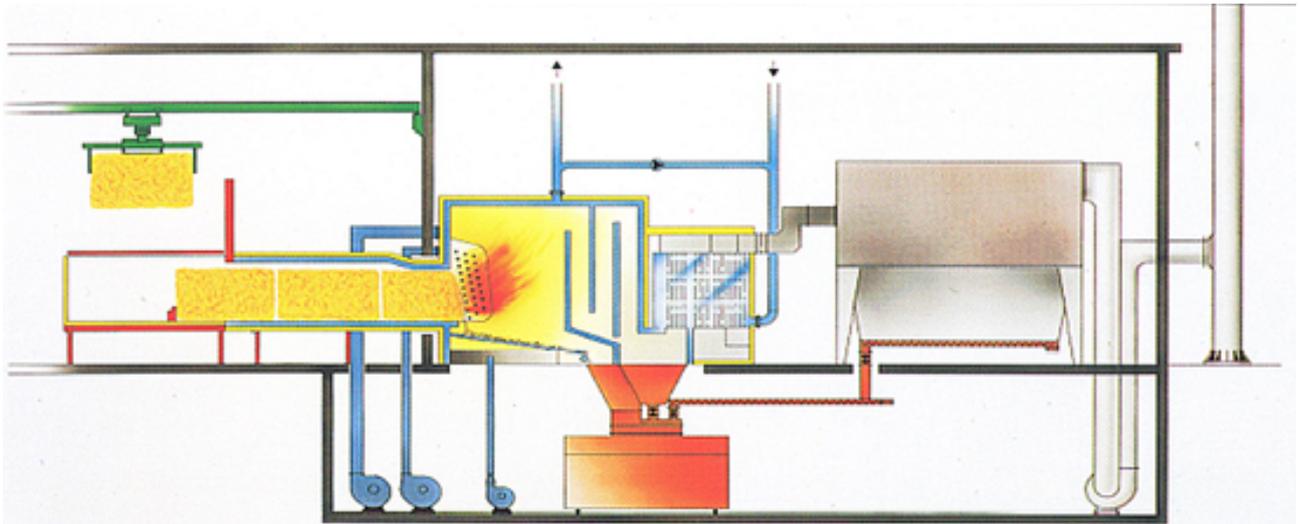


Figura 9: Schema illustrativo della tecnologia "cigar burner" per grandi balle
(fonte: Babcock e Wilcox-Vølund)

In periodi più recenti, tuttavia, i nuovi impianti danesi si sono spostati dai sistemi a balloni alla paglia tritata, ottenendo una maggiore efficienza. Ciò consente infatti alla paglia di bruciare completamente e in tempi più brevi.

In Italia non sono noti impianti energetici alimentati unicamente a paglia di riso. L'azienda Idroblins srl, con sede a Saluzzo (CN) e sede operativa a Crova (VC), alimenta tuttavia a biomassa (anche se prevalentemente lolla di riso) un impianto in grado di bruciare quotidianamente circa 200 tonnellate di scarti agricoli e dell'industria risicola.

Un discorso a parte merita invece la pratica della combustione in loco delle stoppie che, seppur ammessa dalla normativa italiana nonostante sia dannosa per l'ambiente, è molto diffusa, ed ha avuto origine dal fatto che la paglia del riso è molto impegnativa da interrare, in quanto risulta particolarmente ostile alla marcescenza a causa dell'elevato contenuto di silice e può favorire lo sviluppo di organismi indesiderati che danneggiano le piante di riso. La bruciatura dei residui persiste infatti anche per ridurre la presenza dei semi delle piante infestanti, per arginare gli attacchi fungini e per rendere più agevole l'operazione di aratura primaverile.

Quantitativi marginali vengono raccolti in balle per essere utilizzati come lettiera per il bestiame.

4.4.3. Progetti finanziati dall'Unione Europea

Sin dal 1983 l'allora Comunità Economica Europea ha attuato una politica di sviluppo tecnologico e ricerca, che si fonda su programmi volti al finanziamento di progetti che ricercano soluzioni a problemi ritenuti rilevanti per la società europea in diversi settori, compreso quello agricolo.

Possono essere suddivisi in tre macro-categorie, in base alle quali la paglia di riso è esaminata e valutata come:

- fonte energetica;
- fertilizzante/humus o mangime;

- materiale per la produzione di polimeri, materiale per carta, pannelli, ecc.

Per quanto riguarda l'ultimo punto, alcune iniziative hanno definito processi per produrre, con tecnologia relativamente semplice ed esente da emissioni, pasta di legno dalla paglia. Tutti i prodotti chimici utilizzati nei processi di spappolamento della paglia sono biodegradabili e sono utilizzabili anche per altre fibre vegetali. I processi offrono vantaggi ambientali, essendo a emissioni zero, e sono economici per la qualità del prodotto e per la possibilità di recuperare interessanti sottoprodotti, quali la lignina.

L'impresa industriale Chimar Hellas, con sede a Salonicco, in Grecia, che sviluppa e fornisce tecnologia e servizi di ricerca e sviluppo per la resina e le industrie di pannelli a base di legno, nell'ambito dei progetti finanziati dall'Unione Europea "Advanced environmentally friendly composite materials for the furniture and construction industries" (1995-1996, BRE2-CT94-1535) e successivamente "Innovative technology for panel manufacture from fiberised agriculture" (1999-2001, IN2-05511) ha sviluppato con successo un prototipo di laboratorio di una nuova tecnologia che consente la costruzione di pannelli realizzati interamente in paglia. Il processo è in grado di alterare la struttura della fibra della paglia in un modo economicamente efficiente grazie a un sistema di sfibatura chimico-termico e meccanico che destruttura gli strati di cera e silice che circondano le cellule della paglia e porta alla creazione di singole fibre. Questa tecnologia permette di penetrare e legare le singole fibre utilizzando molta meno formaldeide rispetto ai prodotti simili. Il processo è stato successivamente industrializzato con un prezzo finale dello strawboard inferiore di circa il 20% rispetto a quello dei pannelli truciolari o di fibra concorrenti. I moduli costruiti, particolarmente adattati al settore dell'edilizia, hanno dimostrato in laboratorio di essere fino a sette volte più resistenti di quelli di solo legno ed hanno il 35% in più di resistenza all'acqua.

4.5. Pula di riso

La pula di riso è attualmente il sottoprodotto del riso più utilizzato. Essendo ricca di sostanze nutritive viene impiegata principalmente come mangime a basso costo per il bestiame e come fonte di fibra negli alimenti per animali domestici. La pula di riso può costituire fino al 40% di apporto alimentare per maiali, mucche, pollame e cani.

Contiene il 14-18% di olio; questo ha un marcato effetto ammorbidente sul grasso corporeo e sul grasso butirrico nel latte. Nello specifico, la pula non sgrassata è un utile legante nei mangimi misti, ma viene utilizzata in quantità ridotte; quella sgrassata, invece, può essere consumata in quantità superiori.

Viene spesso alterata con l'aggiunta di percentuali di lolla di riso per raggiungere un tenore di fibre grezze del 10-15%. È una buona fonte di vitamine del gruppo B ed è piuttosto appetibile per gli animali da allevamento.

Va osservato che i sottoprodotti della lavorazione del riso non seguono rigorose convenzioni di denominazione. Molti prodotti denominati erroneamente "pula di riso" sono in realtà miscele di sottoprodotti ottenuti nelle diverse fasi del processo di lavorazione, con conseguenti grandi variazioni nella composizione chimica.

Se confrontato con il contenuto di nutrienti di altri cereali, la pula fornisce una sostanziosa

miscela di proteine, lipidi, energia e minerali; tuttavia, è necessaria una fase di stabilizzazione mediante trattamenti termici per evitare che si deteriori precocemente: se non è stabilizzata al calore, una grande parte può essere corrotta per l'irrancidimento ossidativo.

La ricerca emergente è dedicata all'estrazione e all'arricchimento della pula mediante costituenti chimici (ad esempio antiossidanti e steroli).

4.6. Lolla di riso

La lolla di riso è il sottoprodotto derivante della sbramatura del riso. Viene usata principalmente come biocombustibile o come arricchimento nei materiali per l'edilizia. Viene anche impiegata, in alcuni paesi, come lettiera per il pollame e alimentazione per i ruminanti.

La lolla di riso potrebbe essere utilizzata nell'alimentazione degli animali nei seguenti modi:

- come lolla di riso grezza. Il foraggio grezzo di bassa qualità, come la lolla di riso macinata, può essere incluso in piccole quantità (fino al 15%) nelle diete ad elevato apporto dei bovini da foraggio, per aiutare a fornire massa, stimolare l'appetito e diminuire l'incidenza di ascessi epatici. In aree con carenza di foraggio grezzo, la lolla di riso può essere usata sul suolo in sostituzione della paglia o come ricambio parziale. In alcuni è stata aggiunta sul suolo per aumentare l'assunzione di mangime da parte degli animali;
- come lolla di riso trattata con ammoniaca. Un processo sviluppato per produrre mangimi per bestiame dalla lolla prevede l'aggiunta di fosfato monocalcico, la rimozione di silice, l'ammoniazione sotto pressione e la tostatura. La lolla di riso ammoniata è stata utilizzata in proporzioni fino al 40% della razione totale per pecore, senza conseguenti problemi digestivi o di masticazione;
- insieme alla pula e al materiale di scarto della lucidatura.

A causa dell'elevato contenuto di silicio, tuttavia, la lolla di riso non è ancora stata realmente sfruttata nell'industria alimentare e dei mangimi. Inoltre, i composti fenolici endogeni (sostanze che svolgono un'azione protettiva sulla salute umana, sebbene in quantità significative, sono legati alle pareti cellulari attraverso il legame con polisaccaridi, lignina ed eventualmente con silicio, e di conseguenza non sono facilmente estraibili in condizioni blande.

Numerose pubblicazioni sugli usi della lolla di riso attestano i numerosi tentativi di risolvere il problema dello smaltimento di questo sottoprodotto.

I valori dei composti bioattivi indicano che la lolla di riso, indipendentemente dalla varietà testata, contiene una quantità di fenoli che rende tale materiale meritevole di un ulteriore sfruttamento da parte dell'industria alimentare. Ciò diventa evidente se i valori sono confrontati con quelli della letteratura sul contenuto di tiamina pirofosfato (vitamina B1, indispensabile per la trasformazione degli zuccheri in energia muscolare e per la funzionalità del sistema nervoso) di alcuni rifiuti solidi agroalimentari, quali carruba, buccia di patata e bucce d'uva bianca.

5. I materiali tessili

5.1. Le fibre

La fibra è un elemento di materia caratterizzato da flessibilità, finezza ed elevato rapporto fra lunghezza e dimensione trasversale massima (diametro), che la rendono adatta ad essere impiegata nelle lavorazioni del ciclo tessile, dalla formazione del filato alle ultime fasi di rifinitura del tessuto.

Le fibre tessili sono classificate, in base alla loro natura, in due famiglie: naturali e tecnofibre (man made), suddivise a loro volta in sottogruppi. Le fibre naturali sono denominate tali perché si trovano allo stato fibroso già in natura, per cui l'intervento dell'uomo è volto ad ordinarle e trasformarle in filato, senza modificarne la composizione chimica. Le tecnofibre, invece, non trovandosi allo stato fibroso in natura, sono realizzate interamente dall'uomo, attraverso processi di trasformazione di polimeri organici, come la cellulosa (artificiali), o tramite la polimerizzazione di elementi derivati dalla manipolazione di petrolio, carbone o gas (sintetiche). Le tecnofibre hanno fatto la loro comparsa sul mercato con le artificiali nella seconda metà del XIX secolo, con il rayon viscosa (allora denominato seta artificiale), poi nel 1935 con le sintetiche, quando l'azienda americana Du Pont brevettò il nylon (poliammide). Dagli anni del secondo dopoguerra ad oggi il loro utilizzo è andato sempre più crescendo perché meno costose e con caratteristiche innovative rispetto alle naturali; è stimato che attualmente più del 60% del volume della produzione mondiale di fibre è rivestito dalle tecnofibre, fra cui le sintetiche la fanno da padrone. Le tecnofibre vengono anche definite fibre programmabili, in quanto, grazie alla moderna tecnologia, possono essere fabbricate con caratteristiche tecniche ed estetiche sempre più aderenti al prodotto richiesto dal mercato.

5.1.1. Classificazione delle fibre tessili

- Fibre naturali:
 - Animali (lana, peli animali e seta)
 - Vegetali (cotone, lino, canapa, sisal, cocco ecc.)
 - Minerali (amianto)

- Tecnofibre:
 - Artificiali (prodotte da polimeri organici di origine naturale):
 - Animali (lanital, merinova, fibra da latte)
 - Vegetali (viscosa, cupro, acetato, triacetato ecc.)
 - Minerali (acciaio, ottone, rame, carbonio ecc.)
 - Sintetiche (prodotte da polimeri di sintesi): poliammide, poliestere, acrilico, elastan ecc.

Ogni fibra tessile è dotata di un proprio codice meccanografico, una sigla, con cui viene identificata in modo semplice e univoco; i codici meccanografici, come previsto da leggi europee vigenti in materia, possono essere utilizzati esclusivamente su documenti di transazione commerciale, a patto che sia allegata una tabella per la loro codifica.

N. fibra	Codice	Italiano	Inglese	Tedesco	Francese
1	WO	Lana	Wool	Wolle	Laine
2	WP	Alpaca	Alpaca	Alpaka	Alpaga
	WL	Lama	Lama	Lama	Lama
	WK	Cammello	Camel	Kamel	Chameau
	WM	Mohair	Mohair	Mohair	Mohair
	WA	Angora	Angora	Angora (kanin)	Angora
	WG	Vigogna	Vicuna	Vikunja	Vigogne
	WY	Yack	Yak	Yak	Yack
	WU	Guanaco	Guanaco	Guanako	Guanaco
	WB		Beaver	Biber	Castor
	WT		Oteer	Otter	Loutre
3	HA	Pelo a Crine	Hair	Haar	Poil
4	SE	Seta	Solk	Seide	Soie
5	CO	Cotone	Cotton	Baumwolle	Coton
6	KP	Kapok	Kapok	Kapok	Capoc
7	LI	Lino	Flax	Flachs b.z.w. Leinen	Lin
8	CA	Canapa	True hemp	Hanf	Chanvre
9	JU	Juta	Jute	Jute	Jute
10	AB	Abaca	Abaca (Manila hemp)	Manila	Abaca
11	AL	Alfa	Alfa	Alfa	Alfa
12	CC	Cocco	Coir (coconut)	Kokos	Coco
13	GI	Ginestra	Broom	Ginster	Genet
14	KE	Kenaf	Kenaf (Hibiscus hemp)	Kenaf	Kenaf
15	RA	Ramié	Ramie	Ramie	Ramie
16.1	SI	Sisal	Sisal	Slsal	Sisal
16.2	SN		Sun	Sunn	Sunn
16.3	HE		Henequen	Henequen	Henequen
16.4	MG		Maguey	Maguey	Maguey
17	AC	Acetato	Acetate	Acetat	Acetate
18	AG	Alginica	Alignite	Alignar	Alignite
19	CU	Cupro	Cupro	Cupro	Cupro
20	MD	Modal	Modal	Modal	Modal

21	PR	Proteica	Protein	Regenerierte Proteinfaser	Proteinique
22	TA	Triacetato	Triacetate	Triacetat	Triacetate
23	VI	Viscosa	Viscose	Viskose	Viscose
24	PC	Acrica	Acrylic	Polyacryl	Acrylique
25	CL	Chlorofibra	Chlorofibre	Polyachlorid	Chlorofibre
26	FL	Fluorofibra	Fluorofubre	Fluorfaser	Fluorofibre
27	MA	Modacrilica	Modacrylic	Modacryl	Modacrylique
28	PA	Poliammidica	Nylon	Polyamid	Polyamide
29	PI	poliester	Polyester	Polyester	Polyester
30	PE	Polietilenica	Polyethylene	Polyathylen	Polyethylene
31	PP	Polipropilena	Polypropylene	Polypropylen	Polypropylene
32	PB	Poliureica	Polycarbamide	Polyharnstoff	Polycarbamide
33	PU	Poliuretana	Polyurethane	Polyurethan	Polyurethan
34	VY	Vinilal	Vinylal	Vinylal	Vinylal
35	TV	Trivinilica	Trivinyll	Trivinyll	Trivinyll
36	EL	Gomma	Elastodiene	Elastodien	Elastodiene
37	EA	Elastan	Elastane	Elasthan	Elasthanne
38	GL	Vetro tessile	Glass fibre	Glasfaser	Verre textile
39	ME	Metallo Metallica Metallizzata	Metal Metallic Metallised	Metall Metallisch Metallisiert	Metal Metallique Metallise
	AS	Amianto	Asbestos	Asbest	Amiante
	PI	Carta tessile	Paper	Papier	Papier

Codice	Italiano	Inglese	Tedesco	Francese
WV	Lana Vergine	Fleece wool	Scheerwol	Laine vierge
AF	Altre fibre	Other fibres	Andere vezels	Autres fibres
HL	Misto lino	Cotton linen Union	Halffinnen	Metis
TR	Residui tessili o composizione non determinata	Textile residues or unspecified composition	Textielresten of onbepaalde samenstellin	Residus textiles ou composition non determinee

Tabella 13: Codice meccanografico uniforme europeo, elaborati da Comitextil (fonte: Il prodotto moda)

Nome della fibra	Abbrevia-	Nome della fibra	Abbrevia-
acetato	CA	modacrilica	MAC
acrilica	PAN	modal	CMD
algina	ALG	poliammidica	PA
aramidica	AR	poliestere	PES
clorofibra	CLF	polietilenica	PE
cupro	CUP	poliimmidica	PI

elastan	EL	poliossiamidica	POA
elastodiene	ED	polipropilenica	PP
fibra di carbonio	CF	triacetato	CTA
fibra di silice	SF	vetro tessile	GF
fibra metallica	MTF	vinilal	PVAL
fluorofibra	PTFE	viscosa	CV
lyocell (es. Tencelâ)	CLY		

Tabella 14: Abbreviazioni per sole fibre chimiche disciplinate dalla normativa UNI 9963/92 (fonte: Il prodotto moda)

5.1.2. Proprietà

Proprietà morfologiche

- Finezza:** indica il diametro medio di una fibra espresso in micron ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$) o, come nel caso della seta e delle tecnofibre, in denari (unità di misura ottenuta dal rapporto fra peso e lunghezza). La finezza incide su due parametri importanti: la mano ed il pregio, in quanto più è fine una fibra, più morbida e gradevole risulterà al tatto, e maggiore il pregio e quindi il costo (il prezzo delle fibre è determinato da vari fattori, fra cui uno dei più importanti è la finezza). In natura le fibre più fini sono rappresentate dalla seta e dal cotone, con un diametro compreso tra i 10 e 22 μm , e da alcuni peli animali come quello della capra del cashmere (13-15 μm) e della vicuna (10-13 μm). Per quanto riguarda le tecnofibre si possono ottenere finezze di qualsiasi misura, anche con spessore compreso tra 1 e 5 μm (microfibra); oggi grazie alla nanotecnologia si trovano in commercio anche le cosiddette nanofibre, ovvero fibre sintetiche con un diametro inferiore a 100 nanometri. Le fibre naturali, dipendentemente dal tipo di animale o pianta da cui provengono, hanno fasce di finezza standard e conformazione della sezione ben definita (la lana circolare, il cotone a fagiolo, il lino poligonale, la seta triangolare ecc.); le tecnofibre, invece, oltre a poter essere prodotte con la finezza desiderata, possono venir realizzate con la forma della sezione voluta (circolare, a stella, frastagliata, triangolare, polilobata ecc.).
- Lunghezza:** le fibre in base alla loro lunghezza si suddividono in discontinue e a bava continua. Discontinue sono tutte quelle naturali, tranne la seta, in quanto hanno una lunghezza limitata. Per quanto riguarda la lana ed i peli degli animali, queste si suddividono a loro volta in **fibre cardate** e **pettinate**, cioè corte nel primo caso (sotto i 50 mm) e lunghe nel secondo (sopra i 50 mm); con fibre cardate tecnologicamente si possono ottenere solo filati grossi, mentre con fibre pettinate anche filati fini. In ogni caso esiste una lunghezza minima (circa 20 mm) sotto la quale una fibra non può essere utilizzata perché i filati prodotti non avrebbero coesione. La dicitura fibra a bava continua si adotta invece per la seta e per tutte le tecnofibre, dal momento che una bava di seta può arrivare ad avere una lunghezza pari ad 1 km, e le artificiali e sintetiche possono essere prodotte con lunghezze illimitate; queste ultime per svariate esigenze, come ad esempio quella di essere impiegate in mista con altre fibre,

vengono spesso prodotte con lunghezze pari a quelle discontinue (lunghezze a taglio laniero, o taglio cotoniero).

Proprietà fisiche

- **Densità:** esprime la massa di materia contenuta in un determinato volume. Usando una fibra a bassa densità si possono ottenere manufatti più leggeri a parità di volume rispetto a una fibra più densa, oppure a parità di massa si possono ottenere prodotti più voluminosi.

Se si usano, ad esempio, poliestere e polipropilene per preparare due manufatti identici come caratteristiche e volume (ad esempio 1 dm^3) si vede che il primo avrà una massa di 1,38 kg mentre il secondo solo di 0,91 kg.

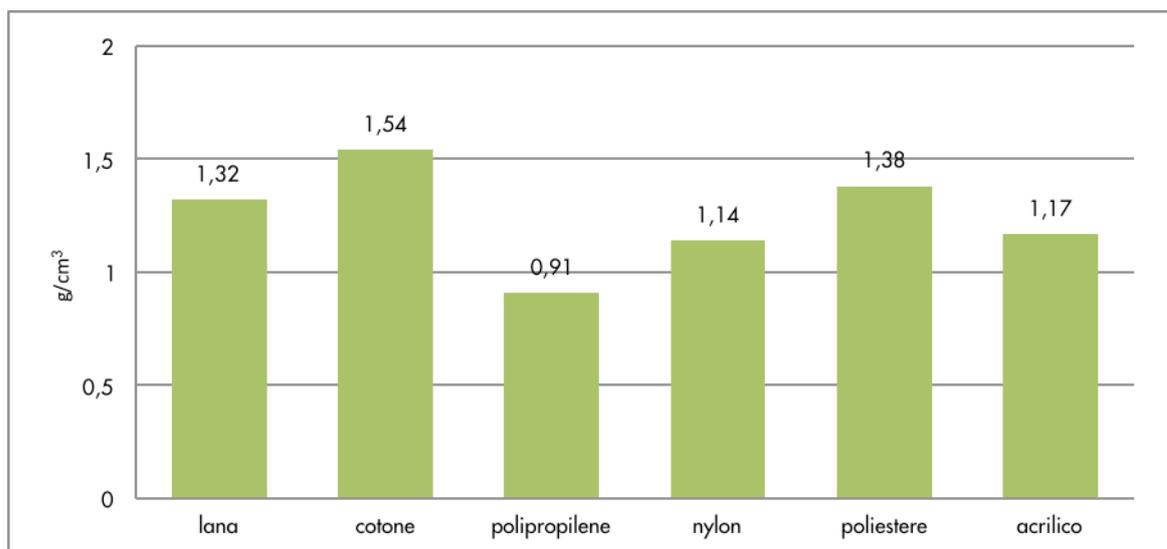


Figura 10: Densità di alcune fibre naturali e sintetiche
(fonte: appunti del prof. R. Fabris)

Proprietà meccaniche

- **Resistenza alla trazione:** viene determinata misurando con una idonea apparecchiatura la forza necessaria per portare a rottura una fibra o un filato sottoposto a trazione. Il valore ottenuto, denominato carico di rottura, esprime la forza massima sopportata dal campione prima di rompersi.

Il valore di carico di rottura dipende da due fattori:

- la capacità intrinseca di resistenza, propria del materiale;
- la sezione o titolo.

Il carico di rottura viene espresso in grammi (g) o centinewton (cN) e viene determinato per mezzo del dinamometro, costituito principalmente da due morsetti che trattengono il campione per le estremità e che vengono allontanati gradualmente per produrre la trazione.

- **Allungamento:** contemporaneamente al carico di rottura si determina anche l'allungamento subito dal materiale, il quale può essere espresso in mm (allungamento assoluto), anche se si preferisce in percentuale riferita alla lunghezza iniziale di prova:

$$\text{Allungamento \%} = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100$$

in cui L_0 è la lunghezza del materiale a riposo e L_1 quella del materiale sotto carico. I valori sotto al 10% indicano che il materiale è poco estensibile, mentre i valori superiori al 30% indicano un materiale molto estensibile. Se il materiale ha un allungamento superiore al 300-400% e presenta un elevato recupero elastico, rientra nella categoria degli elastomeri.

- **Elasticità:** è la capacità generica di un materiale tessile di riacquisire la dimensione originale dopo che ha subito una deformazione (allungamento, compressione o flessione). Il recupero elastico è la grandezza che permette di valutare l'elasticità di un materiale sottoposto ad allungamento. Esso indica la percentuale di deformazione che il materiale riesce a recuperare al cessare della sollecitazione che l'ha provocata:

$$\text{Recupero elastico} = (\Delta_1 - \Delta_2) / \Delta_1 \times 100$$

In cui Δ_1 è la deformazione subita durante una determinata sollecitazione e Δ_2 è la deformazione che permane sul campione al cessare della sollecitazione.

Per conoscere il comportamento dei materiali tessili sottoposti a sollecitazioni di trazione si analizza la corrispondente curva carico - allungamento. Questo grafico è ottenuto riportando su un diagramma i valori di allungamento di fibra o filato in corrispondenza della forza che li provoca. Sull'asse delle ordinate sono riportati i valori di carico applicato e sull'asse delle ascisse i corrispondenti valori di allungamento percentuale.

L'allungamento espresso in percentuale permette il confronto tra fibre di lunghezza iniziale diversa; il carico applicato riferito al titolo permette di confrontare fra loro fibre o filati di sezione diversa.

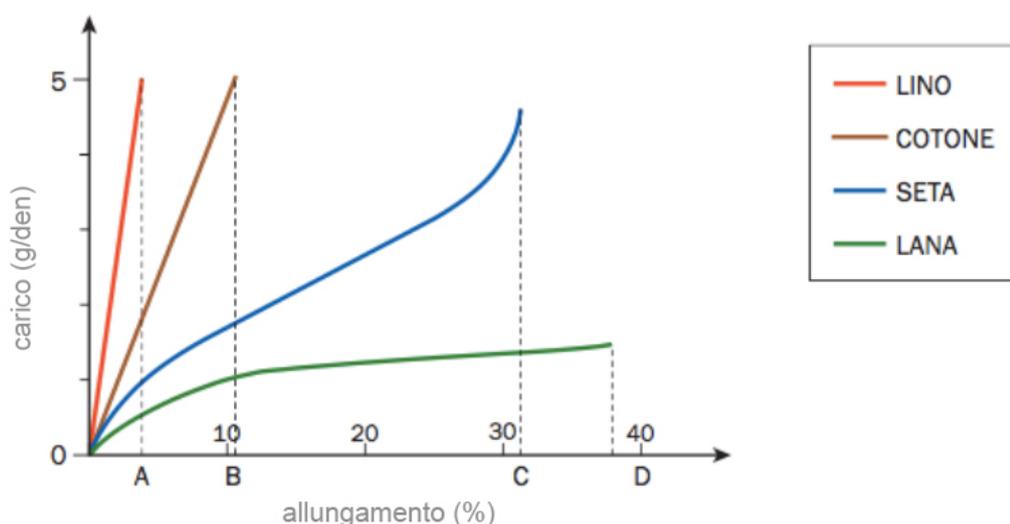


Figura 11: Curve carico - allungamento di alcune fibre tessili (fonte: appunti del prof. R. Fabris)

- **Resilienza:** è la capacità di un materiale di riprendere la propria forma dopo la compressione. E' una proprietà fondamentale per tutte le fibre che sono sottoposte a frequenti e prolungate compressioni.
- **Resistenza all'abrasione:** è la capacità di resistere allo sfregamento. Le fibre che presentano la migliore resistenza all'abrasione sono generalmente le sintetiche, quali poliammide e poliestere, che vengono infatti utilizzate nella realizzazione di abbigliamento sportivo.

Proprietà termiche

- **Conducibilità termica:** è la capacità di un materiale di condurre il calore. Materiali ad elevata conducibilità termica trasportano rapidamente e con facilità il calore, materiali a bassa conducibilità sono isolanti.
Il coefficiente di conducibilità termica è la grandezza che permette di esprimere quantitativamente i valori dei vari materiali. La sua unità di misura è espressa in $\text{kCal/m h } ^\circ\text{C}$. Con ciò si intende la quantità di energia che attraversa le due facce opposte di un cubo di 1m^3 , che differiscono di 1°C di temperatura, in un'ora.
Tutte le fibre tessili sono materiali isolanti, anche se la loro conducibilità può essere molto diversa.

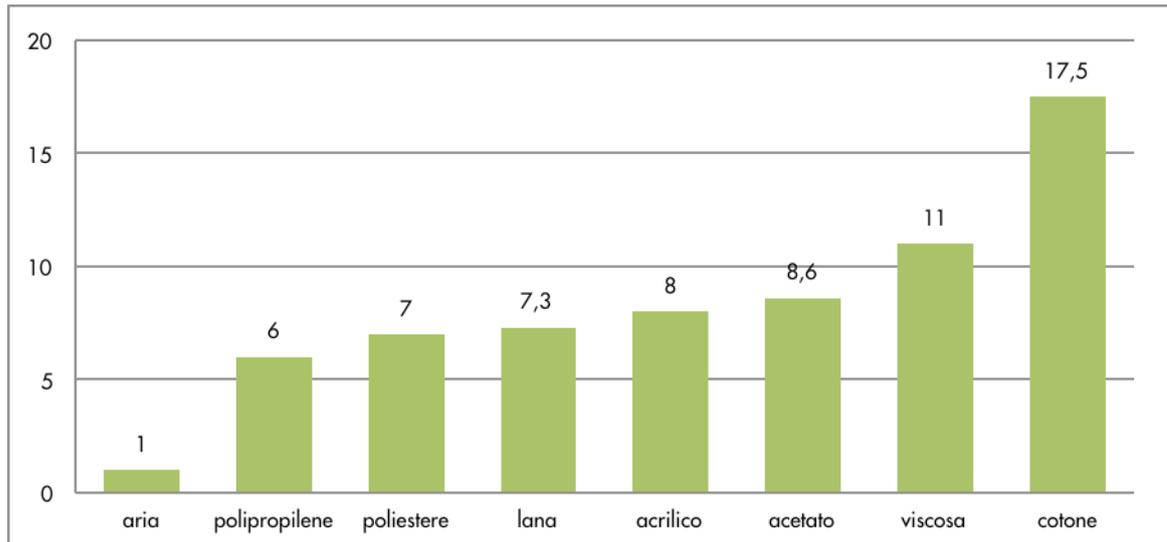


Figura 12: Conducibilità termica di alcune fibre tessili in riferimento all'aria, la cui conducibilità termica è pari a 1. Il confronto è dovuto al fatto che in un manufatto tessile essa viene intrappolata e costituisce il principale materiale isolante

- **Termocoibenza:** è la capacità di un manufatto di coibentare dal punto di vista termico, cioè di mantenere la temperatura dell'ambiente che riveste.
Non è una proprietà facilmente definibile tramite un valore, poiché è il risultato di svariati fattori quali tipo di fibra, tipo di filato, tipo di tessuto, ecc.

- **Comportamento al calore:** per comportamento al calore si intende il comportamento evidenziato da una fibra tessile riscaldata in assenza di fiamma.

Le fibre possono essere divise in due categorie in base al comportamento al calore:

- o fibre naturali e alcune artificiali (viscosa e cupro): riscaldate non fondono, ma da una certa temperatura in poi si degradano. La temperatura corrispondente si definisce temperatura di inizio decomposizione. Chimicamente il fenomeno corrisponde alla rottura dei legami intercatena e di catena del polimero;

Fibra	Temperatura di decomposizione °C
Lana	130
Seta	150
Cotone	150
Viscosa	175÷240
Cupro	150

Tabella 15: Temperatura di decomposizione di alcune fibre
(fonte: appunti del prof. R. Fabris)

- o fibre sintetiche e alcune artificiali (acetato e triacetato): presentano quattro temperature caratteristiche via via crescenti.
 1. **Temperatura di transizione vetrosa o T_{glass} (T_g):** è la temperatura a cui i legami intercatena delle zone amorfe si scindono. Si definisce in questo modo perché le zone amorfe (in cui le molecole sono disordinate come nel vetro) passano, per via della rottura dei legami intercatena, da una condizione di elasticità ad una di plasticità, cioè di deformazione permanente in caso di sollecitazione meccanica.
 2. **Temperatura di rammollimento (T_r):** è la temperatura a cui iniziano a scindersi i primi legami intercatena delle zone cristalline. La fibra diventa molle e appiccicosa e perde buona parte delle proprietà meccaniche. Se la fibra permane per alcune decine di minuti a questa temperatura o se si supera di una decina di gradi la temperatura stessa, la fibra si danneggia in maniera irreparabile.
 3. **Temperatura di fusione (T_f):** è la temperatura a cui si scindono tutti i legami intercatena delle zone cristalline. La fibra diventa liquida in quanto le catene macromolecolari sono libere di spostarsi e scorrere reciprocamente. Poiché con la fusione la fibra perde la struttura cristallina, anche se viene risolidificata non può più avere un utilizzo tessile a meno che non venga nuovamente estrusa attraverso una filiera.
 4. **Temperatura di decomposizione (T_d):** è la temperatura a cui i legami di catena dei polimeri si scindono. E' una vera e propria reazione chimica in cui dai polimeri si formano delle nuove sostanze chimiche. Se si raggiunge questa temperatura il polimero diviene comunque inutilizzabile perché cambia la sua composizione chimica.

Fibra	Temperatura transizione vetrosa °C	Temperatura di rammollimento °C	Temperatura di fusione °C	Temperatura di inizio decomposizione °C
Acetato	170÷180	190÷205	230÷250	
Triacetato		230	300	
Poliammide	47	220÷235	250÷260	310
Poliestere	110	220÷240	248÷260	
Acrilica	85	200÷250	Fonde decomponendosi a 250	

Tabella 16: Temperature caratteristiche di alcuni polimeri sintetici (fonte: appunti del prof. R. Fabris)

- **Resistenza termomeccanica:** rappresenta quanto le fibre tessili mantengono inalterate le proprietà meccaniche iniziali in seguito a riscaldamento. E' una proprietà importante per quei manufatti che durante il loro impiego possono essere sottoposti a fonti di calore (filtri per gas caldi, tessuti a contatto con motori, ecc.).
- **Comportamento al fuoco:** la maggior parte delle fibre tessili in condizioni opportune brucia. La combustione è una reazione chimica che ha come reagenti un combustibile (la fibra tessile) e un comburente (l'ossigeno), i quali in presenza di un innesco sono in grado di combinarsi generando reagenti (fumi e ceneri) e sviluppando calore. La capacità di bruciare di una fibra dipende principalmente dalla sua composizione chimica. Il parametro principale che permette di valutare se una fibra brucia bene o male è detto L.O.I., sigla che significa Limit Oxygen Index (indice limite di ossigeno) e rappresenta la percentuale minima di ossigeno richiesta all'ambiente in cui si trova la fibra perché questa bruci mantenendo la combustione. Poiché la percentuale di ossigeno nell'aria è del 21%, bruciano bene le fibre con L.O.I. inferiore; per considerare una fibra con caratteristiche FR (flame retard, cioè a ritardo di fiamma) è tuttavia necessario che il suo valore sia superiore al 28%.

Fibra	L.O.I.
Clorofibra	24÷28
Modacrilica	22÷29
Lana	25
Acrilica	18÷21
Poliammidica	20
Poliestere	20
Viscosa	20
Acetato	18
Cotone	18

Tabella 17: Indice limite di ossigeno (L.O.I.) di alcuni polimeri naturali e sintetici (fonte: appunti del prof. R. Fabris)

Proprietà chimiche

- **Igroscopicità:** le fibre tessili sono perlopiù in grado di assorbire acqua dall'ambiente circostante. L'attitudine idrofila di una fibra tessile dipende da due fattori:
 - presenza di gruppi polari nel polimero costituente la fibra;
 - presenza di numerose zone amorfe (in cui l'acqua può alloggiare).Risulta quindi che le fibre naturali (meno cristalline) assorbono più acqua delle sintetiche. Il grafico seguente riporta la percentuale di acqua assorbita in riferimento alla massa secca di materiale di alcune fibre immerse in acqua.

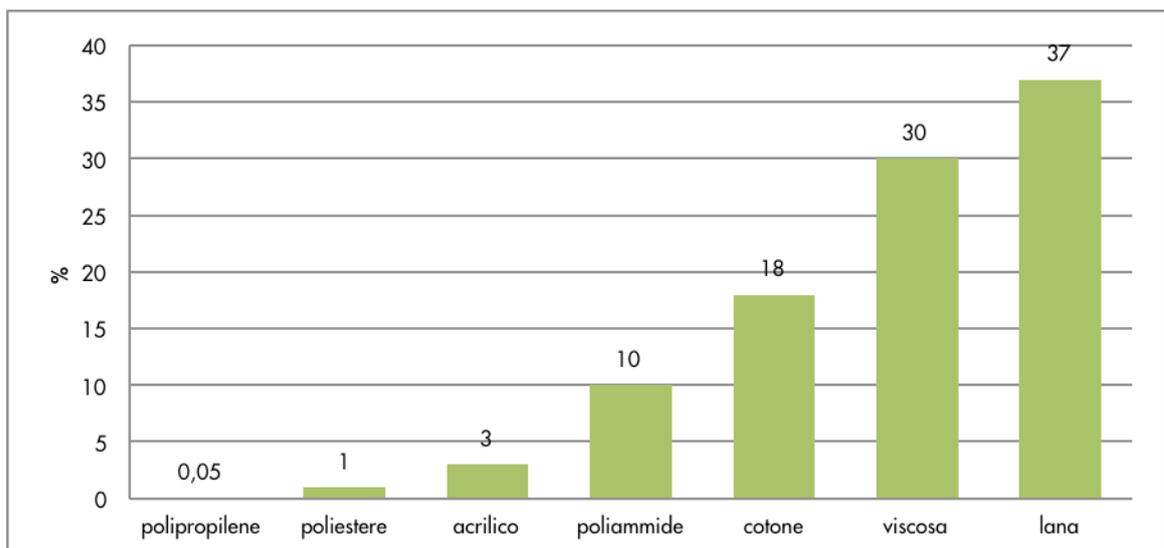


Figura 13: Assorbimento di acqua di alcune fibre naturali e sintetiche
(fonte: appunti del prof. R. Fabris)

- Le fibre che presentano una grande idrofilia pongono due tipi di problematiche:
- le caratteristiche meccaniche della fibra possono variare in maniera significativa per fibra secca o umida;
 - materiali tessili acquistati e venduti a peso variano di molto la propria massa in base all'umidità ambientale e di conseguenza il proprio valore.

Per questi due motivi si sono stabilite condizioni di temperatura e umidità ambientale da rispettare per avere situazioni sempre riproducibili in fase di lavorazione e commercio. L'ambiente cui si fa riferimento su scala mondiale si definisce "ambiente condizionato" e ha un'umidità del 65% e una temperatura di 20°C.

- **Resistenza ai raggi UV ed alle intemperie:** le intemperie e l'irraggiamento solare possono degradare le fibre tessili esposte a tali condizioni, diminuendone le proprietà meccaniche. Trattando le fibre (chimiche in particolare) con determinati additivi ci si può opporre a questi fenomeni. Esistono inoltre fibre che presentano una intrinseca resistenza agli agenti atmosferici: acrilico e propilene in particolare.
- **Resistenza biologica:** le fibre naturali, in determinate condizioni (temperature elevate e soprattutto umidità), possono essere attaccate da muffe e batteri, inoltre la lana è soggetta all'aggressione delle tarme.

Le fibre sintetiche sono immuni agli attacchi biologici, il che le rende idonee per determinate applicazioni (reti interrato, tessuti per agricoltura, ecc.), ma pone il problema dello smaltimento per decomposizione in discarica.

5.1.3. Fibre miste

L'esperienza di tutti i giorni ci porta a constatare, attraverso la lettura delle etichette apposte sui vestiti, che la composizione fibrosa di gran parte dei capi d'abbigliamento che indossiamo non è al 100% di un'unica fibra, ma è caratterizzata dalla combinazione di due o più fibre.

Un'altra cosa facilmente verificabile è anche che la maggior parte delle fibre miste comprende una fibra naturale mescolata con una tecnofibra.

Il motivo principale per cui, ormai da diversi anni, vengono prodotti tessuti misti con fibre naturali e tecnofibre è sicuramente di carattere economico, poiché l'impiego di queste ultime, ed in particolare delle sintetiche, abbassa notevolmente i costi di produzione e quindi del prodotto finale; da notare che sia le fibre artificiali che quelle sintetiche sono state inventate per motivi imitativi di quelle naturali e di abbassamento del prezzo (la viscosa ad esempio fu ideata per sostituire a buon mercato la seta). Inoltre, impiegare anche piccole percentuali di fibre sintetiche insieme a quelle naturali, come nel caso del nylon con la lana, porta ad un miglioramento della resistenza dei tessuti.

Dagli anni '60 ad oggi la moda ha fornito però altri validi motivi per la sperimentazione nel campo delle fibre miste, in quanto la rapida evoluzione con cui essa progredisce, ha fatto diventare di stagione in stagione sempre più pressante, da parte dei creatori, la richiesta di prodotti tessili con caratteristiche tecniche ed estetiche nuove ed innovative:

Alcuni esempi di miste fra fibre naturali e tecnofibre riscontrabili nei tessuti sono le seguenti:

- **mista lana/acrilico** (o altra fibra sintetica): ha la caratteristica di costare meno di un 100% lana, nonché di infeltrire meno dopo i continui lavaggio di manutenzione, di prudere meno e di asciugare più rapidamente (l'acrilico, essendo una fibra sintetica, assorbe poca umidità).
- **mista cotone/poliestere, o cotone/nylon**: gualcisce meno rispetto ad un 100% cotone (perché le sintetiche hanno un più basso grado di gualcibilità), dando la possibilità di produrre i cosiddetti tessuti wash and wear impiegati per la camiceria, senza dover ricorrere a particolari finissaggi anti piega.
- **mista cotone/elastan, o lino/elastan**: viene incontro ad esigenze di vestibilità, che con tessuti 100% cotone o lino non potrebbero essere realizzati perché legherebbero i movimenti.
- **mista seta/viscosa**: ha quasi esclusivamente lo scopo di abbassare i costi, in quanto la viscosa imita alla vista molto bene la seta, ma è notevolmente più economica.

Le miste non sono però limitate solo a quelle fra fibre naturali e tecnofibre, ma è possibile trovarle pure fra due o più naturali fra loro; anche in questo caso i motivi sono sempre la riduzione del prezzo e la possibilità di ottenere tessuti con caratteristiche tecniche ed estetiche particolari.

Un raso in mista seta/lana viene realizzato per abbassare i costi, rispetto ad uno al 100% in seta, pur rimanendo un tessuto di qualità, e per conferirgli una mano che riassume in sé la scivolosità della seta, con il calore e la morbidezza della lana; un lana/lino, invece, viene prodotto

allo scopo di ottenere una mano caratterizzata dal contrasto di due fibre tecnologicamente molto diverse fra loro: la lana morbida, calda ed elastica e il lino rigido e fresco.

E' possibile infine imbattersi anche in miste fra sole tecnofibre, in particolare sintetiche, che non hanno come motivo principale l'abbassamento del costo, ma la ricerca di performance tecniche particolari e rispondenti a precise esigenze di mercato, come ad esempio nell'ambito dell'abbigliamento sportivo.

5.1.4. Il saggio alla fiamma

Il saggio alla fiamma, o alla combustione, è un metodo molto pratico, anche se approssimativo, per riconoscere quale fibra è contenuta all'interno di un tessuto. Ognuna di queste, infatti, presentando una propria composizione chimica, sottoposta alla fiamma si comporterà in un modo specifico. Tale esercizio è utile per chi deve riconoscere in modo generico e veloce, in mancanza di etichettatura, quale tipologia di fibra è contenuta nel tessuto che si sta impiegando. Durante il saggio alla fiamma devono essere svolte le seguenti osservazioni:

- combustione (se prende fuoco o no, ed eventualmente come continua a bruciare);
- fumi (colore e densità);
- odore;
- residui della combustione.

Fibra		Combustione	Fumi	Odore	Residuo
Naturali di origine animale	Lana	Non prende fuoco: sotto l'azione della fiamma brucia friggendo; allontanata la fiamma si estingue	Leggeri e di colore chiaro	Forte odore di corno bruciato	Carbonioso e friabile; sporca le dita
	Seta	Non prende fuoco: sotto l'azione della fiamma brucia friggendo; allontanata la fiamma si estingue	Leggeri e di colore chiaro	Corno bruciato, ma meno intenso che nella lana	Carbonioso e friabile, ma più leggero che nel caso della lana; sporca le dita
Naturali di origine vegetale	Cotone Lino (tutte le cellulose)	Prende fuoco facilmente; continua a bruciare a fiamma viva; spenta la fiamma continua la combustione	Durante la combustione non emana fumo; spenta la fiamma emana abbondante fumo chiaro e leggero	Forte odore di carta bruciata	Leggero ed impalpabile come la cenere
Tecnofibre artificiali	Viscosa Cupro	Prende fuoco facilmente; continua a bruciare a fiamma viva; spenta la fiamma continua la combustione	Durante la combustione non emana fumo; spenta la fiamma emana abbondante fumo chiaro e leggero	Forte odore di carta bruciata	Leggero ed impalpabile come la cenere
	Acetato	Prende fuoco facilmente; durante la combustione tende a fondere	Fumo denso e nero	Acre e pungente	Nero e duro

Tecnofibre sintetiche	Nylon/ Poliestere	Prende fuoco facilmente; durante la combustione fonde	Fumo denso e nero	Plastica bruciata, o acre e pungente	Duro e vitreo
	Acrilico	Prende fuoco facilmente; durante la combustione fonde	Fumo denso e nero	Acre e pungente	Carbonioso e friabile

Tabella 18: Esiti del saggio alla fiamma delle fibre maggiormente impiegate (fonte: Il prodotto moda)

Per quanto riguarda le sintetiche, l'esercizio del saggio alla fiamma non sempre permette di distinguere in modo chiaro il tipo di fibra, dal momento che più di una presenta caratteristiche di combustione simili alle altre. Queste osservazioni si complicano se il tessuto in esame è composto da due o più fibre. Per conoscere con certezza la fibra, ed in quale percentuale è contenuta in un tessuto, è necessario rivolgersi ad istituti di analisi che, con apposite attrezzature e protocolli fissati dalla legge, determinano con esattezza la composizione.

5.2. I filati

Il filato, nella sua forma più semplice, è un fascio di fibre parallele unite fra loro per torsione (capo unico). Si definisce filato anche il prodotto della torsione di due o più capi unici (ritorto). La torsione è caratterizzata da due elementi principali:

- **il senso di torsione** (o rotazione) identifica la direzione delle spire formate dalle fibre nel capo unico, o dai capi unici nei ritorti. Le direzioni con cui le torsioni possono girare attorno all'asse del filato sono due e vengono identificate con le lettere S e Z. Si parla di torsione a S quando le spire, scendendo da sinistra verso destra, corrispondono al tratto mediano della lettera S; torsione a Z quando le spire, salendo da sinistra verso destra, corrispondono al tratto mediano della lettera Z;
- **il numero di giri** (o torsioni) definisce il numero di spire che sono contenute in una determinata lunghezza (le unità di lunghezza solitamente usate sono il metro o il pollice inglese). Il numero di torsioni a metro viene determinato in base al tipo di prodotto che deve essere realizzato, in quanto tale parametro, soprattutto per filati realizzati con fibre discontinue, influisce sulla resistenza, voluminosità, morbidezza, pelosità e tendenza al pilling (per pilling si intende la formazione di grumi di fibre in seguito all'azione di sfregamento durante l'uso).

All'aumento del numero di torsioni corrisponde un miglioramento della resistenza del filato, una mano più secca ed asciutta, un aumento dell'elasticità, ed una diminuzione della pelosità e della tendenza al pilling; al contrario un basso numero di torsioni coincide ad una minore resistenza del filato, ad una mano più morbida e voluminosa, nonché a un aumento della pelosità e alla tendenza alla formazione del pilling.

Quando un filato ha un elevatissimo numero di torsioni a metro (ad esempio 3000 torsioni/m) prende il nome di stratorto, ed ha la particolarità di tendere ad arricciarsi su se stesso; l'impiego degli stratorti è indispensabile il più delle volte per fabbricare tessuti con effetto crespo, come ad esempio il crêpe di lana, oppure i vari tipi di crêpe che si trovano in seteria.

5.3. Le superfici tessili

La superficie tessile è una falda omogenea, morbida e pieghevole di spessore relativamente piccolo, ottenuta attraverso l'intreccio di filati o la coesione chimica, termica o meccanica di fibre. Nonostante la grande varietà di superfici tessili presenti sul mercato, tutte quante possono essere ricondotte e suddivise in tre categorie, che si distinguono l'una dall'altra per il procedimento di fabbricazione con cui vengono ottenute:

- tessuti a fili ortogonali, o a fili rettilinei (woven fabric);
- tessuti a maglia, o a fili curvilinei (knit fabric);
- tessuti non tessuti (TNT), o coesionati (nonwoven fabric).

5.3.1. Tessuti non tessuti (TNT)

I tessuti non tessuti, o coesionati, sono superfici tessili ottenute attraverso la coesione chimica, meccanica o termica di fibre.

A differenza delle altre superfici tessili, non sono formati dall'intreccio di filati, ma direttamente dalla coesione di fibre che, a seconda dell'origine, può avvenire in diversi modi. Per quanto riguarda la lana, ad esempio, il coesionamento è ottenuto sfruttando la sua naturale capacità di infeltrimento, sottoponendo le fibre a frizione e a precise condizioni di umidità e calore; tramite questa operazione si ottiene il feltro, conosciuto fin dall'antichità, che oggi nel settore abbigliamento trova applicazione in specifici prodotti, come ad esempio nella fabbricazione di cappelli. Per quanto riguarda l'uso delle altre fibre, ed in particolare delle sintetiche, la coesione può essere realizzata attraverso l'agrovigliamento meccanico per mezzo di speciali aghi o getti d'acqua ad alta precisione, oppure sfruttando la loro capacità termoplastica.

I processi di produzione, seppur diversi tra loro, possono essere ricondotti tutti quanti a tre fasi:

- **Formazione del velo:** le fibre, discontinue o bava continua, vengono disposte in una struttura piana; queste possono essere posizionate con un orientamento parallelo, incrociato, oppure in modo casuale, a seconda del tipo di prodotto che deve essere realizzato.
- **Coesionatura del velo:** operazione che ha lo scopo di conferire resistenza al velo, in modo che possa rispondere alle esigenze d'uso per le quali è stato progettato; molti TNT presentano, su tutta la loro superficie, tanti piccoli fori, a volte disposti in schemi decorativi ben precisi, che non sono altro che il residuo del passaggio degli aghi o dei getti d'acqua.
- **Trattamenti di finitura:** i finissaggi a cui possono essere sottoposti i TNT sono svariati, tra cui la goffatura, la stampa, l'accoppiamento e trattamenti che ne aumentano la traspirabilità, l'idrorepellenza, l'assorbimento ecc.

6. Le bioplastiche

Il termine “bioplastica” fa riferimento ad un’intera famiglia di materiali con proprietà ed applicazioni diverse. Secondo la **European Bioplastics**, associazione che rappresenta la fiorente industria delle bioplastiche a livello europeo, un materiale plastico è definito “bioplastica” se è bio-based, biodegradabile, o se presenta entrambe le proprietà.

Con il termine bio-based si intende che il materiale o prodotto è, anche parzialmente, derivato dall’utilizzo di biomassa (come riportato nella EN 16575:2014). Le biomasse utilizzate nella produzione di bioplastiche sono prevalentemente provenienti da mais, canna da zucchero o cellulosa.

Con il termine biodegradazione si indica invece il processo chimico attraverso il quale i microrganismi presenti nell’ambiente convertono i materiali in sostanze naturali come acqua, anidride carbonica e compost senza la necessità di additivi artificiali. Il processo di biodegradazione dipende dalle condizioni ambientali (ad esempio umidità e temperatura), dal materiale e dall’applicazione.

La proprietà della biodegradazione non dipende dalla base di risorse di un materiale, ma è piuttosto legata alla sua composizione chimica.

Le bioplastiche, giorno dopo giorno, stanno guidando l’evoluzione della plastica. I vantaggi rispetto alle plastiche convenzionali sono i seguenti:

- aumento dell’efficienza delle risorse mediante:
 - coltivazione delle risorse su base annuale;
 - secondo il principio di uso “a cascata”, la biomassa può essere utilizzata inizialmente per la produzione di materiali e poi la generazione di energia;
- riduzione del “carbon footprint” e dell’emissione di gas serra;
- riduzione dell’uso di combustibili fossili.

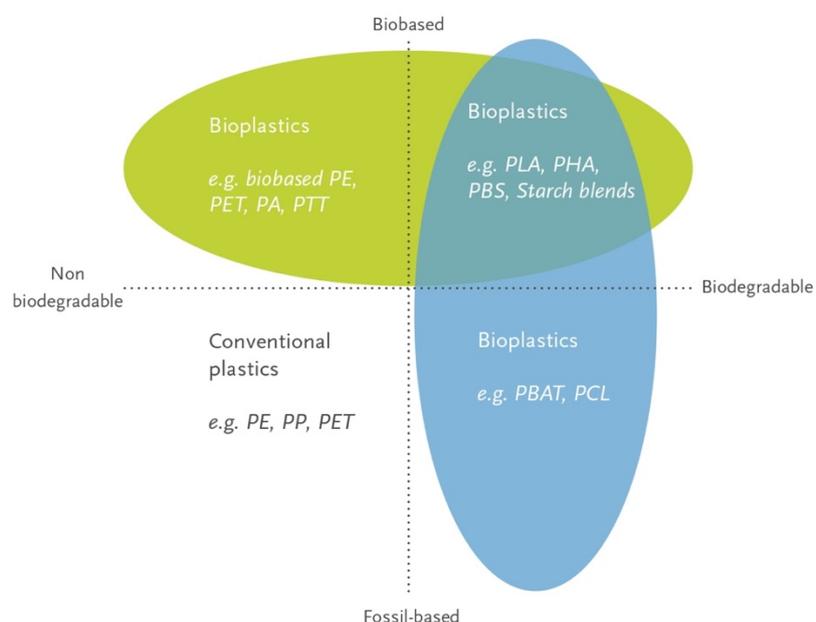


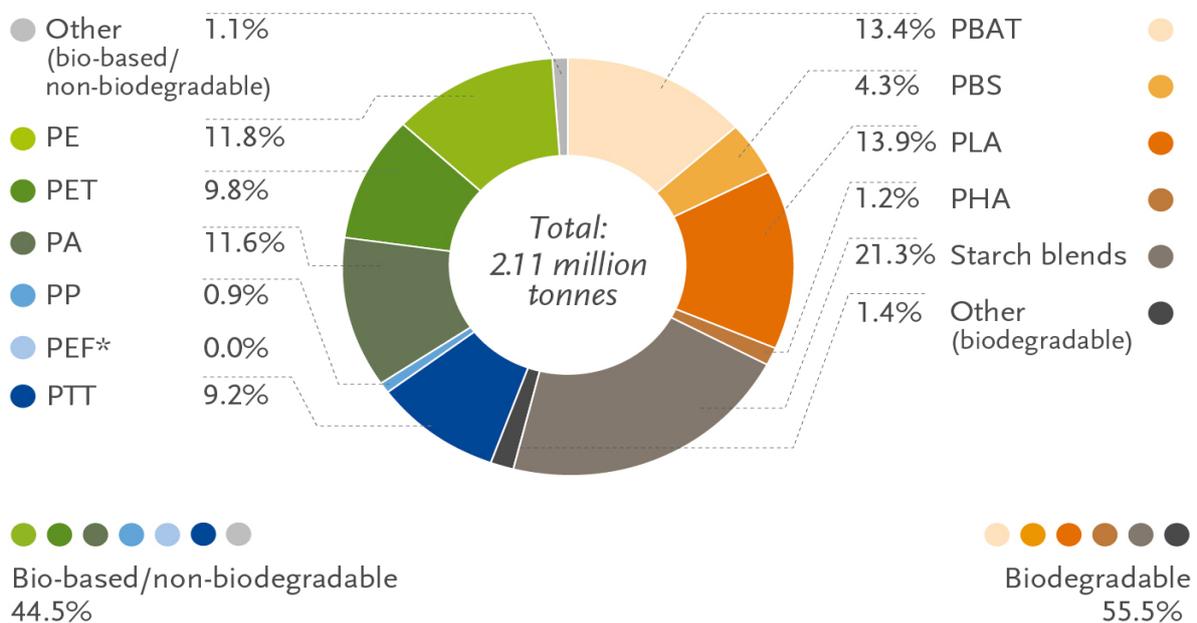
Figura 14: Schema sulle diverse tipologie di plastiche (fonte: European Bioplastics)

Le bioplastiche sono una parte essenziale della bioeconomia e di un'industria innovativa in rapida crescita che ha il potenziale di disaccoppiare la crescita economica dall'impoverimento delle risorse e dall'impatto ambientale.

Le bioplastiche sono una famiglia diversificata di materiali con proprietà diverse. Possono essere suddivise in tre gruppi principali:

- **materie plastiche non biodegradabili totalmente o parzialmente naturali** come il bio-polietilene (bio PE), il bio-polipropilene (bio PP) o il bio-polietilene tereftalato (bio PET), ottenuti a partire da zuccheri vegetali, e polimeri naturali di prestazione tecnica come il politrimetilentereftalato (PTT) o il copoliestere termoplastico (TPC-ET);
- **materie plastiche naturali e biodegradabili**, come l'acido polilattico (PLA) e i poliidrossialcanoati (PHA) o il polibutilene succinato (PBS);
- **materie plastiche che si basano su risorse fossili e sono biodegradabili**, come il polibutirrato (PBAT).

Attualmente le bioplastiche rappresentano circa l'1% delle 335 milioni di tonnellate di plastica prodotta ogni anno, ma con l'aumento della domanda e l'emergere di nuovi materiali, applicazioni e prodotti sempre più sofisticati, il mercato si sta sviluppando in modo molto dinamico.



*PEF is currently in development and predicted to be available in commercial scale in 2023.

Figura 15: Produzione globale di bioplastiche aggiornata al 2019 (fonte: European Bioplastics)

6.1. Applicazioni

Oggi le bioplastiche si possono trovare principalmente nei seguenti segmenti di mercato:

- imballaggi;
- agricoltura e orticoltura;

- elettronica;
- rivestimenti e adesivi;
- settore tessile;
- edilizia;
- settore automobilistico.

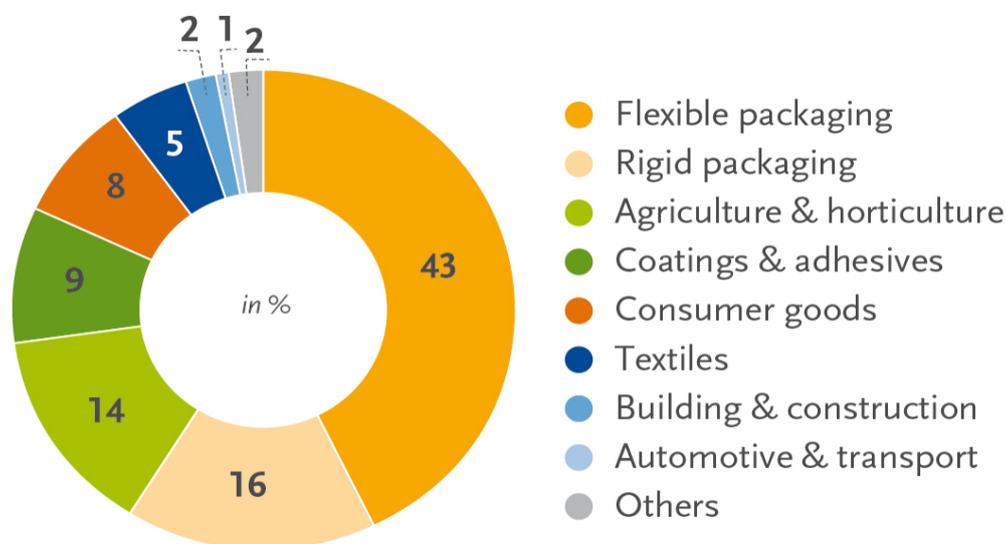


Figura 16: Percentuali di utilizzo delle bioplastiche nei diversi segmenti di mercato (fonte: European Bioplastics)

Vi è una forte domanda di imballaggi realizzati in bioplastica per alimenti biologici e per prodotti "premium" con requisiti specifici. Nel 2018, le capacità produttive globali di bioplastica ammontavano a circa 2,11 milioni di tonnellate con quasi il 65% (1,2 milioni di tonnellate) del volume destinato al mercato degli imballaggi, il più grande segmento di mercato nel settore delle bioplastiche.

Sono disponibili applicazioni rigide in bioplastica per l'imballaggio cosmetico di creme e rossetti, bottiglie per bevande e molto altro. In questi casi vengono utilizzati materiali come PLA, PE naturale o PET naturale. Diversi marchi noti, come ad esempio Coca-Cola o Heinz, utilizzano PET naturale per bottiglie di ogni dimensione contenenti bevande e altri fluidi. Procter & Gamble e Johnson & Johnson ricorrono al PE naturale per confezionare diversi tipi di prodotti cosmetici. Negli ultimi tempi il PLA sta guadagnando terreno anche nel mercato degli imballaggi rigidi.

La biodegradabilità è una caratteristica spesso ricercata quando si tratta di confezioni alimentari per prodotti deperibili. Le soluzioni di imballaggio flessibile come film e vassoi sono particolarmente adatte per prodotti freschi come frutta e verdura in quanto consentono una maggiore durata degli alimenti. I requisiti per il confezionamento sono diversi e numerosi in quanto vi sono diversi tipi di alimenti. Oggi i materiali e i processi di imballaggio sono estremamente sofisticati e facilmente adattabili per soddisfare specifiche esigenze di applicazione e conservazione. Quando si tratta di proteggere gli alimenti e prolungare la durata di conservazione, le prestazioni degli imballaggi in bioplastica sono quantomeno paragonabili a quelle degli imballaggi convenzionali esistenti, talvolta anche migliori. Continuando a migliorare le proprietà barriera

come il rivestimento antimicrobico e altri aspetti, l'industria delle bioplastiche sarà presto in grado di ottenere una migliore conservazione dei prodotti alimentari rispetto alle confezioni attuali.

I polimeri biodegradabili offrono vantaggi specifici in agricoltura e orticoltura. I teli per la pacciamatura, ad esempio, stanno facendo rapidi progressi in questi settori: l'aratura dei teli dopo l'uso è un lavoro pratico che migliora l'economia dell'operazione.

Le plastiche biodegradabili offrono anche opportunità per il marketing delle piante e dei bulbi in vaso che possono essere piantati direttamente nel terreno all'interno della confezione: l'imballaggio si disperde rapidamente e quindi può iniziare la crescita delle piante.

Esistono poi trappole a feromoni, elementi di fissaggio e altri prodotti che non devono più essere raccolti dopo l'utilizzo.

Una grande percentuale di apparecchi elettrici di consumo è fatta di plastica. Oggi involucri, circuiti stampati e archiviazione dei dati sono fatti di plastica per garantire che gli apparecchi siano leggeri e mobili, pur essendo resistenti e, ove necessario, durevoli. Una gamma crescente di prodotti bioplastici viene introdotta nel settore dell'elettronica di consumo, che è in rapida evoluzione.

Nell'industria automobilistica i produttori si sono rivolti a bioplastiche durevoli totalmente o parzialmente naturali per produrre robusti componenti del cruscotto e altre solide parti interne ed esterne, come ad esempio i paraurti. Tali costituenti possono fornire uno standard di sicurezza che è di estrema importanza nel settore dei trasporti. I prodotti includono rivestimenti per sedili, airbag e volanti.

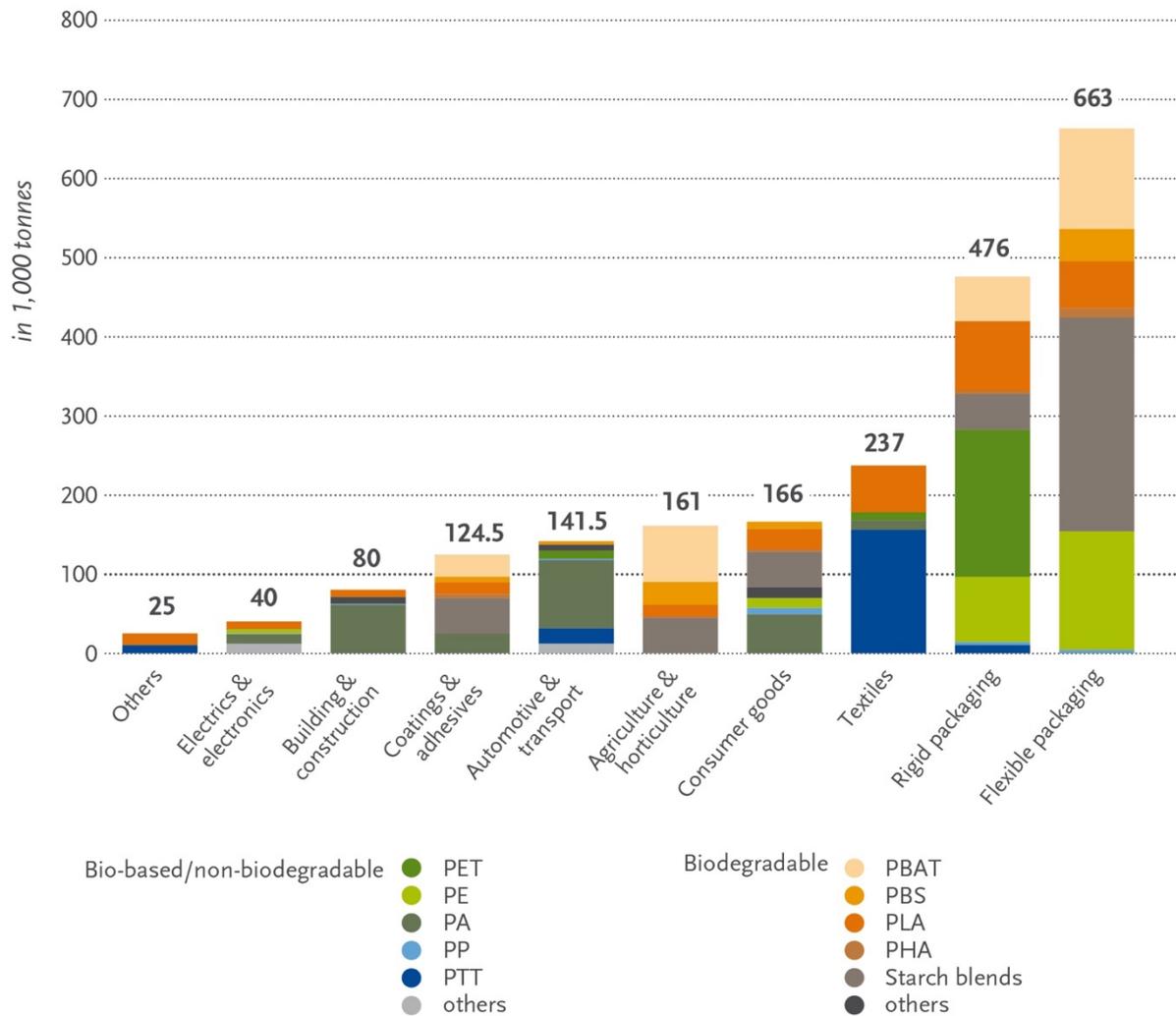


Figura 17: Quantità di bioplastiche impiegate nei diversi segmenti di mercato (fonte: European Bioplastics)

6.2. Materia prima e uso di suolo

Le bioplastiche sono perlopiù costituite da piante ricche di carboidrati come il mais o la canna da zucchero, le cosiddette **materie prime di prima generazione**. Queste ultime sono attualmente le più efficienti per la produzione di bioplastiche, poiché richiedono la minore quantità di terreno da coltivare e producono i maggiori rendimenti.

L'industria delle bioplastiche sta studiando tuttavia l'uso di colture non alimentari (materie prime di seconda e terza generazione), come la cellulosa. Le tecnologie innovative si concentrano sui sottoprodotti non commestibili della produzione di colture alimentari, che generano inevitabilmente grandi quantità di sottoprodotti cellulosici come paglia e stoppie di mais o bagassa, che di solito sono lasciati sul campo dove si biodegradano in quantità molto più elevata di quanto necessario per il ripristino del livello di carbonio nel suolo.

Bio-based plastics are made from a wide range of renewable **BIO-BASED feedstocks.**



Figura 18: Materie prime utilizzabili per la produzione di bioplastiche (fonte: European Bioplastics)

Nel 2019, la capacità produttiva globale di bioplastiche ammontava a 2,11 milioni di tonnellate, che si traduce in circa 0,79 milioni di ettari di terreno. Ciò significa che la superficie richiesta per coltivare una quantità sufficiente di materie prime per la produzione di bioplastiche è attualmente inferiore allo 0,02% della superficie agricola globale (4,8 miliardi di ettari).

Supponendo che la crescita del mercato delle bioplastiche continui ad aumentare sulla base dell'attuale stadio di sviluppo tecnologico, entro il 2024 potrebbe essere raggiunto un mercato di 2,43 milioni di tonnellate, pari a circa 1,00 milioni di ettari, ovvero circa lo 0,02% della superficie agricola mondiale.

Questa stima non include l'atteso aumento della quota di residui alimentari, colture non alimentari o biomassa cellulosica, che porterà ad un'ulteriore diminuzione della domanda di uso di suolo per la produzione di bioplastiche rispetto alla quantità stimata sopra.

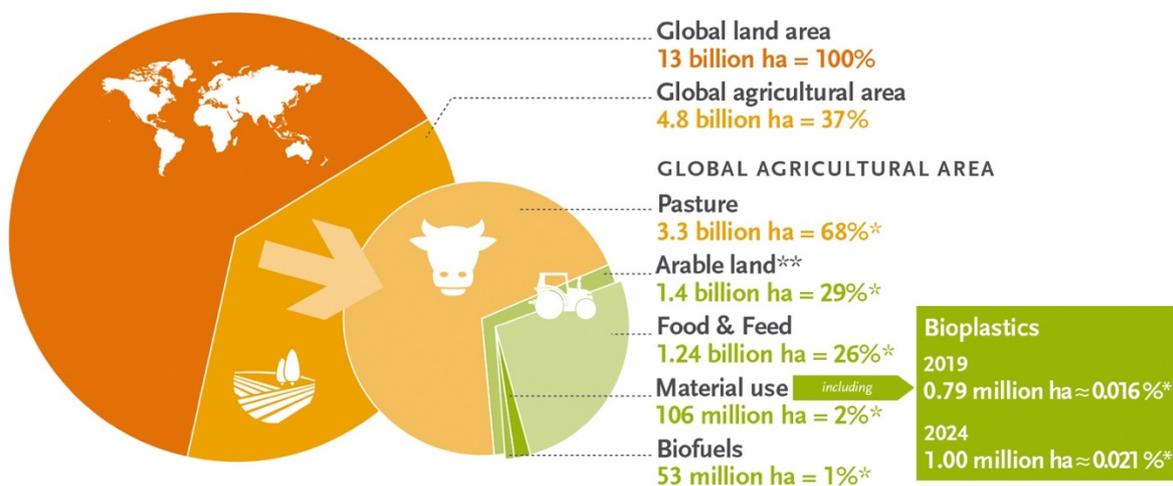


Figura 19: Stima dell'uso di suolo per la produzione di bioplastiche nel 2019 e nel 2024 (fonte: European Bioplastics)

6.3. Benefici ambientali e Life Cycle Assessment

Le bioplastiche hanno il vantaggio esclusivo, rispetto alle plastiche convenzionali, di ridurre la dipendenza dalle risorse fossili e le emissioni di gas serra, o addirittura di essere a emissioni zero; per questo motivo possono contribuire in maniera sostanziale nel raggiungimento dell'obiettivo dell'Unione europea di ridurre le emissioni di gas serra entro il 2020. Le bioplastiche possono inoltre fornire un considerevole contributo all'aumento dell'efficienza delle risorse attraverso una **filiera a ciclo chiuso** e un **utilizzo "a cascata"**, soprattutto se i materiali vengono riutilizzati o riciclati e infine sfruttati per il recupero di energia.

La strategia dell'Unione europea "Europa 2020" contiene obiettivi concreti, tra cui una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra rispetto al 1990, un incremento del 20% per quanto riguarda l'efficienza energetica e una quota complessiva del 20% di energia ottenuta da fonti rinnovabili.

European Bioplastics stima che, sostituendo l'attuale domanda di PE con del PE naturale, sarebbe possibile evitare l'emissione annuale in atmosfera di circa 42 milioni di tonnellate di CO₂ (la CO₂ equivalente di circa 10 milioni di voli aerei all'anno).

Sulla base di questo obiettivo, European Bioplastics supporta l'LCA e il Life Cycle Thinking come strumenti utili al fine di promuovere, quantificare e convalidare la sostenibilità ambientale dei prodotti. Risulta fondamentale prendere sempre in considerazione l'intero ciclo di vita, poiché materiali e prodotti possono avere impatti ambientali completamente diversi durante le singole fasi del loro ciclo di vita. Il LCT comprende inoltre l'analisi di sistemi nel loro complesso ed evita il semplice spostamento del carico tra diverse fasi del ciclo di vita e aree geografiche.

È bene ricordare che non esiste un LCA che si possa adattare alle bioplastiche in generale o a tutti i prodotti da esse derivanti, ma che al contrario possono esserci sostanziali differenze a seconda di una significativa quantità di fattori differenti.

Anche se l'LCA è dunque attualmente lo strumento migliore per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, la possibilità di effettuare raffronti sostanziali validi tra due LCA ha comunque delle limitazioni.

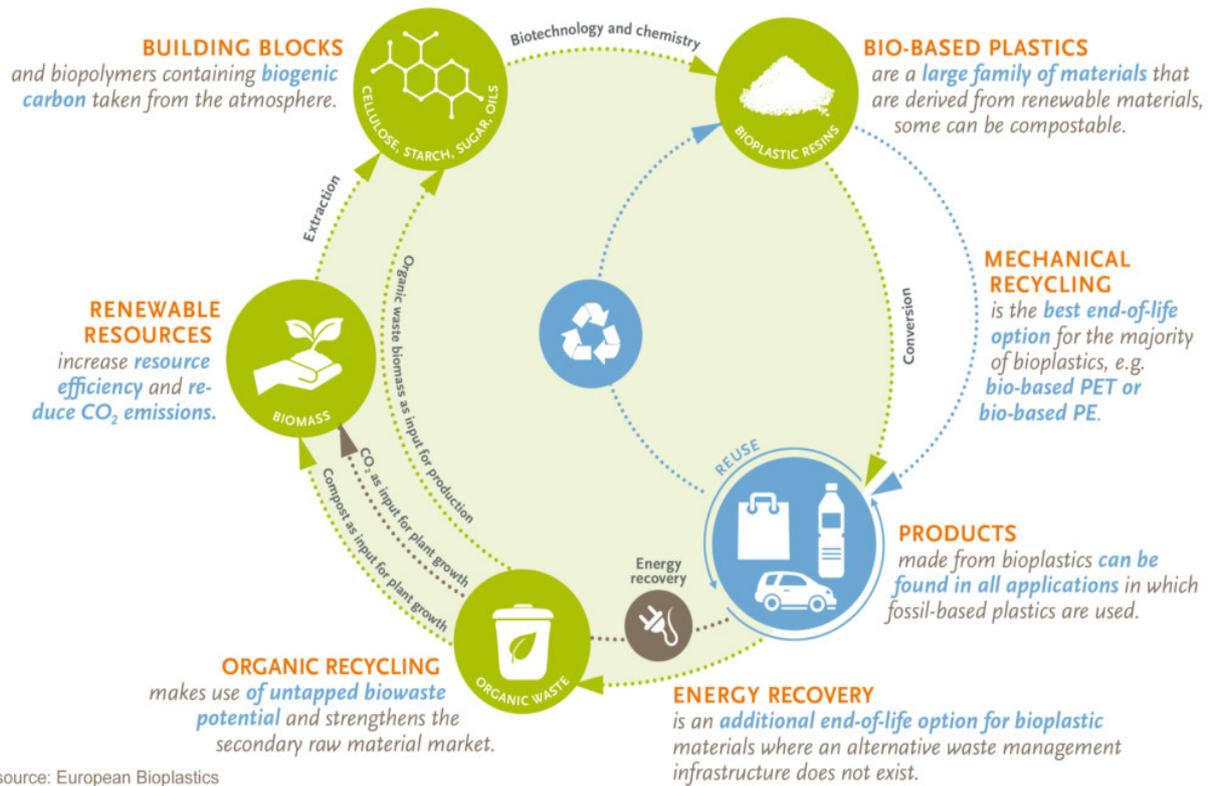


Figura 20: Filiera a ciclo chiuso delle bioplastiche
(fonte: European Bioplastics)

6.4. Certificazioni

Come detto in precedenza, il mondo delle bioplastiche è in rapida espansione. Questo crea spesso inevitabilmente una confusione generale sul mercato, in cui i consumatori poco esperti e meno attenti possono essere attratti da termini standardizzati e poco significativi in assenza di valide certificazioni.

Le norme di riferimento per le certificazioni delle bioplastiche sono la EN 13432:2002 (per gli imballaggi) e la EN 14995:2007 (per tutti gli altri prodotti). I test, secondo tale norma, comprendono:

- **test chimico**: divulgazione di tutti i costituenti e rispetto dei valori limite per i metalli pesanti;
- **biodegradabilità in condizioni controllate di compostaggio** (consumo di ossigeno e produzione di CO₂): è necessario dimostrare che almeno il 90% del materiale organico viene convertito in CO₂ entro 6 mesi;
- **disintegrazione**: dopo 3 mesi di compostaggio e successiva setacciatura attraverso un setaccio da 2 mm, non può rimanere più del 10% di residuo rispetto alla massa originale;
- **prove pratiche di compostabilità in un impianto di compostaggio semi-industriale o industriale**;

- **test di ecotossicità:** esame degli effetti del compost risultante sulla crescita delle piante (test agronomico).

Per ciascun materiale o prodotto devono essere inoltrati tutti i test elencati e le prove devono essere condotte con l'approvazione dei laboratori accreditati.

Bisogna tuttavia prestare attenzione nei casi in cui le certificazioni non fanno riferimento a requisiti dettati dagli standard internazionali, ma a regolamenti propri degli enti certificatori.

6.5. Etichette

A causa del loro aspetto, i prodotti in bioplastica non possono essere facilmente distinti dai prodotti in plastica convenzionali. L'uso di etichette indipendenti e di livello internazionale che contrassegnano i prodotti in bioplastica è importante affinché i consumatori ricevano informazioni trasparenti e corrette.

Gli obiettivi e i vantaggi dell'etichettatura del prodotto includono:

- **identificazione del prodotto** da parte degli utenti/consumatori;
- **sicurezza delle indicazioni;**
- **facilitazione della corretta selezione nella raccolta e nel recupero dei rifiuti;**
- **garanzia di qualità del prodotto.**

Un certificato rilasciato da un ente certificatore può classificare un prodotto con un marchio di qualità. Si tratta di una regolamentazione specifica tra certificatore e proprietario del marchio. Dopo la certificazione di successo, il prodotto specifico può essere etichettato con la rispettiva etichetta.

6.5.1. Etichetta "compostabile"

Il "Seedling" è un marchio registrato di proprietà di European Bioplastics. Dimostra che il prodotto certificato è industrialmente compostabile secondo lo standard europeo EN 13432.

Il logo è seguito dal numero del certificato.

Se certificato con successo, il prodotto sarà completamente compostabile in un impianto di compostaggio industriale, sotto condizioni controllate di temperatura, umidità e tempistiche.

Il logo può essere messo in evidenza solo se il rispettivo prodotto compostabile è stato formalmente certificato. Il processo di certificazione viene eseguito dai certificatori indipendenti DIN CERTCO (Germania) e TÜV AUSTRIA (Belgio) secondo lo schema di certificazione che si basa sulla EN 13432.



compostable

Figura 21: Il marchio registrato "Seedling"
(fonte: European Bioplastics)

6.5.2. Etichetta "bio-based"

Per quanto riguarda le etichette che certificano prodotti bio-based, non vi è attualmente alcun obbligo per i produttori di rivelare l'esatta quantità di materiali da biomassa nei loro prodotti. I produttori possono fornire queste informazioni ai consumatori su base volontaria, e quindi motivare le loro dichiarazioni di marketing e consentire una decisione di acquisto consapevole per i consumatori attenti all'ambiente.

Tali dichiarazioni devono comunque essere conformi allo standard EN 17228:2019, che ha sostituito la meno recente CEN/TS 16137: 2011. Lo standard specifica il metodo di calcolo per determinare il contenuto di carbonio bio-based in monomeri, polimeri e materiali e prodotti in plastica, in base alla misurazione del contenuto di carbonio-14.

Esistono due organizzazioni in Europa che forniscono certificazioni ed etichette corrispondenti basate su questo standard: le sopra citate DIN CERTCO e TÜV AUSTRIA.



Figura 22: Esempi di etichette DIN CERTCO e TÜV AUSTRIA
(fonte: European Bioplastics)

6.6. Il PLA (Poly-Lactic Acid)

L'acido polilattico (PLA) è attualmente considerato uno dei più promettenti polimeri biodegradabili appartenenti al gruppo dei biopoliesteri, grazie al largo spettro dei potenziali impieghi.

Viene ottenuto dalla fermentazione degli zuccheri del mais.

Tra i suoi punti di forza vi sono la versatilità nell'essere processato con diverse tecnologie industriali e la sua ampia disponibilità commerciale, in diverse tipologie e a prezzi relativamente contenuti, che lo rendono adatto per diverse applicazioni.

Può essere classificato come biopolimero sia perché è prodotto a partire da materie prime naturali rinnovabili ricche di amido, sia perché è biodegradabile e compostabile.

La produzione parte dallo zucchero ricavato dall'amido e trasformato in acido lattico mediante fermentazione. L'acido lattico, che è l'unità costituente (monomero) del biopolimero, viene poi dimerizzato a lattide. Dalla policondensazione del lattide si ottiene infine il PLA.

Il suo campo di applicazione è sostanzialmente quello del PET. Viene lavorato principalmente mediante estrusione e stampaggio a iniezione (manufatti vari, preforme per il soffiaggio di bottiglie), ma sono disponibili anche gradi di PLA per espanso, con caratteristiche di resistenza termica simili al polistirene.

Il PLA è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- **meccaniche:** variano da quelle di un polimero amorfo a quelle di un polimero semicristallino; proprietà intermedie a quelle del PET e del PS (polistirene). La temperatura di transizione vetrosa è maggiore della temperatura ambiente;
- **biodegradabilità:** così come prodotto non risulta biodegradabile; lo diventa in seguito a idrolisi a temperatura maggiore di 60 °C e umidità maggiore del 20%;
- **elevata trasparenza;**
- **bassa temperatura di termoformatura;**
- **rigidità elevata;**
- **limitata resistenza termica 60 °C** (se non orientato);
- **igroscopicità.**

6.6.1. Produzione

È commercialmente disponibile, grazie alla produzione su larga scala a prezzi economici, in diverse tipologie che permettono di avere altrettante proprietà, interessanti per ambiti diversi. Vi sono molti grandi produttori nel mondo, con almeno 30 siti produttivi sparsi tra Nord America, Europa ed Asia. Il leader mondiale nella produzione di acido polilattico, commercializzato con il nome di **NatureWorks**, è sicuramente **Cargill USA**, con un impianto in Nebraska in grado di produrre 140.000 t/anno.

Il costo commerciale può variare tra i 2 e i 5 euro/kg, in base alle diverse tipologie presenti sul mercato.

Tra i prodotti è commercializzata anche una schiuma di PLA distribuita con il nome di **BioFoam**,

che si presenta come alternativa biodegradabile ai prodotti attualmente utilizzati a base di polistirene.

L'acido polilattico ha un aspetto esteriore praticamente uguale a quello della plastica e può essere modellato in lamine, fibre o sfere.

La produzione consiste fondamentalmente nell'estrusione della colata, seguita da termoformatura, iniezione, rivestimento, soffiaggio, spinning.

Tra i parametri fondamentali vi è senza dubbio la temperatura di lavoro, che dipende dalla viscosità della colata. Quest'ultima è legata alla distribuzione dei pesi molecolari, al tipo e alla quantità di plastificanti, alla deformazione applicata e al tipo di processo produttivo utilizzato. Risulta dunque molto importante lo studio delle proprietà reologiche dei polimeri in modo da poterli associare con i processi produttivi idonei.

Poiché lo stiramento ne migliora le proprietà, molte delle applicazioni produttive possono essere trovate tra le seguenti:

- termoformatura;
- film biorientato;
- iniezione soffiaggio (flaconi e bottiglie);
- fibre.

Le fasi di preparazione possono così riassumersi:

- separazione dell'amido da fibre e glutine;
- liquefazione e saccarificazione dell'amido;
- fermentazione con riutilizzo nel brodo di coltura della parte proteica separata dall'amido;
- purificazione e concentrazione delle soluzioni di sale dell'acido lattico;
- polimerizzazione;
- preparazione del manufatto.

La fermentazione industriale avviene grazie a un batterio del genere *Lactobacillus*, che abbia una purezza elevata per non influenzare la purezza ottica dell'acido prodotto. Come materie prime si usano zucchero, melasse e siero di latte.

Il PLA standard, tuttavia, non può essere impiegato per l'imballaggio di prodotti a più di 55°C. Per tali applicazioni è in sviluppo una versione differente, definita **C-PLA**.

6.6.2. Applicazioni tipiche

- Contenitori per alimenti;
- bottiglie per l'acqua;
- filamenti per stampa 3D;
- protesi medicali;
- suture mediche;
- rivestimenti per il rilascio controllato di farmaci;
- packaging;
- buste biodegradabili.

Ad oggi i materiali a base di PLA sono commercializzati in tre diversi campi: il biomedicale, l'imballaggio e il tessile: sono attualmente in commercio dispositivi biomedicali, suture, bottiglie ottenute per soffiaggio, tazze, cucchiari e forchette stampati ad iniezione, vassoi e tazze termoformate, fibre per l'industria tessile.

Altri esempi di prodotti biomedici sono i dispositivi per fissare le fratture, come viti, suture, placche di diffusione e di sostegno.

Attualmente, circa il 70 % del PLA prodotto viene utilizzato nel settore dell'imballaggio. A causa del suo costo elevato, l'uso iniziale del PLA come materiale di packaging era limitato a film di alto valore, termoformati rigidi, contenitori per cibi, bevande e carte ricoperte.

Una delle prime compagnie ad usare il PLA negli imballaggi fu la **Danone** per i vasetti dello yogurt ma ora l'uso si è esteso in tutta Europa, Giappone e USA, dove sono utilizzati per prodotti freschi e a breve conservazione, come frutta e verdura.

Le possibili applicazioni includono contenitori, tazze per bevande, insalate e gelati, involucri per dolci, film laminati e blister.

È particolarmente adatto per l'imballaggio di cibi e pane grazie alla sua trasparenza, alle buone proprietà meccaniche e ad un'adeguata permeabilità all'umidità (proprietà migliore rispetto ai polimeri a base amido).

È utilizzato anche per le bottiglie contenenti acqua non gassata (a causa dell'elevata permeabilità all'anidride carbonica); in Italia è commercializzato da Sant'Anna come BioBottle.

Nel campo non alimentare la Panasonic ha usato questo materiale per imballaggi rigidi di batterie.

Il PLA è il materiale più usato nella realizzazione di prodotti che prevedono l'impiego di macchine di prototipazione rapida e che utilizzano tecniche produttive come la FDM (Fused Deposition Modeling), meglio note come stampanti 3D.

PARTE SECONDA

Nella seconda parte dell'elaborato si parlerà dei materiali isolanti per l'edilizia, perlopiù residenziale, ad oggi presenti sul mercato.

Cominciando dalla classificazione sulla base dell'origine, del processo produttivo o della struttura, si procederà poi con la trattazione delle principali caratteristiche prestazionali: comportamento termico e trasmissione del calore, comportamento igrometrico e diffusione del vapore acqueo, comportamento al fuoco, prestazioni acustiche e meccaniche, sempre con riferimento alle principali normative che ne descrivono i metodi per la determinazione dei valori e l'eventuale classificazione.

In secondo luogo, saranno trattati più nello specifico i più diffusi materiali isolanti ecosostenibili: fibra di legno, sughero, lana di pecora, fibra di canapa, fibra di kenaf, vetro cellulare e fibra di legno mineralizzata. Per ciascuno di questi materiali saranno fornite, con il medesimo schema per facilitarne il confronto, le caratteristiche principali, le differenti possibili applicazioni, e una descrizione sul procedimento produttivo.

Verrà trattato, infine, il quadro normativo europeo nell'ambito dei materiali e dei prodotti per l'isolamento termico applicato negli edifici, chiarendo l'organizzazione della produzione normativa e illustrando le norme sui principali prodotti isolanti per l'edilizia.

Sarà introdotto il progetto di norma in corso di sviluppo prEN 17139, riguardante i prodotti per l'isolamento termico composti da fibre vegetali, potenziale norma di riferimento per il pannello oggetto di studio. Tuttavia, non essendo ancora una norma approvata, si farà riferimento specifico alla EN 13171, riguardante i prodotti di fibre di legno. Verranno a tal proposito elencati i riferimenti normativi presenti nella norma principale, dedicando maggiore attenzione a quelle relative ai test di laboratorio. Verranno infine trattati alcuni strumenti indispensabili per la regolare immissione di un prodotto sul mercato: il codice di designazione, la AVCP (valutazione e verifica della costanza della prestazione), la marcatura CE e la Dichiarazione di Prestazione.

7. I materiali isolanti

7.1. Classificazione

I materiali isolanti possono essere classificati in base a diverse caratteristiche, quali ad esempio l'origine, la struttura e il processo produttivo.

A seconda dell'origine vi sono infatti:

- **totalmente sintetici** (fibra di poliestere, polistirene espanso sinterizzato, polistirene espanso estruso, poliuretano espanso e polietilene espanso), che sono basati su polimeri termoplastici o termoindurenti ottenuti da un lungo e complesso processo di lavorazione del petrolio;
- **totalmente minerali**, principalmente materiali granulari naturali (pomice) ed espansi (argilla, perlite, vermiculite e vetro granulare), l'isolante in calce-cemento cellulare e il vetro cellulare, che derivano dalla lavorazione di materie prime minerali come l'argilla, il calcare, le rocce di origine vulcanica, le sabbie quarzifere, il vetro riciclato, senza l'aggiunta di resine;
- **totalmente vegetali** (sughero, canna palustre, fibra di legno, cocco, juta, mais, kenaf, lino, ecc.) in cui la materia prima vegetale subisce una lavorazione che non prevede l'aggiunta di leganti e fibre sintetiche di sostegno.

Vi sono poi una vasta gamma di materiali misti che nascono dall'unione di materie prime di origine diversa, per migliorare il loro comportamento prestazionale:

- **misti minerali - sintetici**, in particolare lane minerali (lana di vetro e di roccia), in cui alla materia prima minerale (sabbie quarzifere, vetro riciclato, rocce di origine vulcanica) viene aggiunta una percentuale di resine sintetiche con funzione di legante;
- **misti vegetali - sintetici** e **animali - sintetici**, in particolare pannelli di fibre morbide (fibre di cellulosa, canapa, lana di pecora e in alcuni casi kenaf e lino) ai quali viene aggiunta una fibra sintetica (in genere nella misura del 10-15%, in alcuni casi anche 30-50%) che lega il materiale e conferisce maggior stabilità;
- **misti vegetali - minerali**, in particolare lana di legno mineralizzata, in cui alla materia prima vegetale viene aggiunta una percentuale di legante minerale (magnesite o cemento Portland) per conferire al materiale maggior resistenza meccanica.

Un'ulteriore suddivisione è quella basata sul processo produttivo:

- **naturali**: vengono impiegati come sono offerti dalla natura, senza rilevanti trasformazioni, pur essendo soggetti, prima della posa in opera, ad alcune lavorazioni atte a darli dei requisiti specifici ad un determinato impiego (taglio, lavaggio ecc.);
- **artificiali**: sono ottenuti mediante specifici processi produttivi con lo scopo di conferire determinate caratteristiche ad una miscela opportunamente dosata di materie prime.

E' possibile infine suddividere i materiali isolanti in base alla loro struttura:

- **fibrosa**, a cella aperta con un numero elevato di fibre di forma allungata, oltre alla presenza di canali di dimensioni ridotte che collegano con l'esterno. Questa compresenza permette al materiale di avere elevate capacità di isolamento termico, di permeabilità al vapore e di assorbimento acustico;
- **cellulare**, a celle chiuse, ottenute tramite l'espansione del materiale. Contiene elevata quantità d'aria ferma nelle cellule che non sono però collegate tra di loro;
- **porosa**, che presenta molti vuoti ma molto piccoli. Ha proprietà simili alla struttura cellulare.

7.2. Caratteristiche prestazionali

L'adozione di materiali isolanti comporta numerosi benefici. Tra i principali vi sono:

- la limitazione dei flussi termici attraverso l'involucro edilizio, flussi dispersi nel periodo invernale ed entranti nel periodo estivo;
- il controllo delle temperature superficiali interne, finalizzato al soddisfacimento delle esigenze di confort termico;
- il controllo dei fenomeni di condensa;
- la riduzione delle variazioni di temperatura in ambienti non climatizzati.

Per valutare i materiali isolanti è necessario però considerare diverse caratteristiche e grandezze fisiche di riferimento in relazione a:

- comportamento termico: si utilizzano principalmente i valori di conducibilità termica, calore specifico e capacità termica;
- comportamento igrometrico: i valori fondamentali sono la resistenza alla diffusione del vapore e la permeabilità al vapore;
- comportamento acustico: coefficiente di assorbimento acustico e potere fonoisolante;
- comportamento al fuoco: euroclasse e classi aggiuntive;
- comportamento meccanico: vi sono diversi valori che esprimono il comportamento meccanico di un materiale isolante e che sono più o meno significativi a seconda del tipo di applicazione. I principali sono la resistenza alla compressione, la resistenza alla flessione, la resistenza a trazione perpendicolarmente alle facce e il carico puntuale.

Nello studio di un materiale con caratteristiche isolanti è di fondamentale importanza tenere conto del fatto che il comportamento dipende non solo dalle proprietà intrinseche del materiale, ma anche da quelle complessive della stratigrafia e dalla collocazione dell'isolante rispetto alla massa.

7.2.1. Comportamento termico e trasmissione del calore

La trasmissione del calore è il fenomeno di propagazione dell'energia che si verifica in presenza di differenze di temperatura.

Il secondo principio della termodinamica stabilisce che il verso di trasferimento spontaneo del calore è dalla zona a temperatura maggiore verso quella a temperatura minore.

Esistono tre diverse modalità di trasmissione del calore:

- conduzione termica: consiste nella trasmissione del calore tra parti di un mezzo continuo per trasferimento di energia cinetica tra particelle o gruppi di particelle a livello atomico;
- convezione termica: consiste nella trasmissione di calore tra parti di un mezzo continuo in presenza di un movimento macroscopico di materia. Almeno uno dei due sistemi che si scambiano calore deve essere un fluido;
- irraggiamento termico: consiste nell'emissione di energia da una superficie, nella propagazione dell'energia attraverso onde elettromagnetiche e nell'assorbimento da parte di una superficie ricevente.

Il flusso termico (Q), o potenza termica, si definisce come la quantità di calore che attraversa un elemento edilizio nell'unità di tempo [W].

Si definisce invece flusso termico areico (q), la quantità di calore che attraversa l'unità di area di un elemento edilizio nell'unità di tempo [W/m²].

Da questo si giunge al concetto fondamentale di conducibilità termica (λ). Essa è il flusso termico areico che, in regime stazionario, attraversa per conduzione uno strato di materiale omogeneo di spessore unitario per unità di differenza di temperatura [W/mK].

La norma UNI EN ISO 10456 specifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per i materiali edilizi termicamente omogenei e permette, attraverso opportuni coefficienti, di convertire i valori di conducibilità ottenuti in determinate condizioni di temperatura e umidità nei rispettivi valori relativi a condizioni termoigrometriche differenti e, per alcuni materiali, di tenere conto di possibili effetti di invecchiamento.

La norma UNI 10351, inoltre, fornisce valori di conducibilità per diversi materiali che tengono conto di una maggiorazione percentuale rispetto ai valori misurati in laboratorio.

L'analisi termica in regime dinamico risulta molto più complessa, ma più precisa e realistica, e, conseguentemente, più efficace.

Se nel regime stazionario la simulazione viene effettuata in un intervallo di tempo che coincide con le stagioni di riscaldamento e tutti i valori sono sostanzialmente ridotti a dei valori medi, in regime dinamico sono adeguatamente considerate tutte le variabili che incidono sul comportamento di un edificio e sul suo bilancio energetico, tenendo conto sia dei fenomeni periodici sia di quelli non periodici.

Per comprendere meglio la differenza tra i due metodi di calcolo devono essere introdotti i concetti di calore specifico e capacità termica.

Si definisce calore specifico (c) la quantità di calore che è necessario fornire per far incrementare di un grado kelvin (o centigrado) la temperatura di un chilogrammo di sostanza. E' un coefficiente proprio di ciascun materiale.

$$c = \Delta Q / (m \cdot \Delta T) \text{ [J/(kg} \cdot \text{K)]}$$

La capacità termica (C) di un corpo è invece la quantità di calore necessaria per far incrementare di un grado kelvin (o centigrado) la sua temperatura.

$$C = \Delta Q / \Delta T \text{ [J/K]}$$

A differenza del calore specifico, la capacità termica non dipende solo dal materiale di cui un corpo è costituito, ma anche dalla sua massa, ed è direttamente proporzionale ad essa. Capacità termica e calore specifico sono legati dalla seguente relazione:

$$C = m \cdot c$$

Nella norma UNI EN ISO 13786, che definisce il metodo di calcolo per le caratteristiche termiche dinamiche, si tratta della diffusività termica (α), o coefficiente di diffusione del calore, che si esprime come il rapporto tra la conducibilità termica e il prodotto tra la densità e il calore specifico.

$$\alpha = \lambda / (\rho \cdot c) \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Questo parametro mette dunque in correlazione i valori trattati sopra, permettendo così di tenere in considerazione, oltre a quelle isolanti, anche le proprietà di accumulo del calore relativamente ad un determinato volume di materiale. Ne consegue che in materiali aventi stessa conducibilità termica e spessore, valori elevati di calore specifico e densità forniscono migliori prestazioni in regime estivo.

7.2.2. Comportamento igrometrico e diffusione del vapore acqueo

Così come la trasmissione del calore avviene a causa di una differenza di temperatura, la diffusione del vapore acqueo è dovuta ad una differenza di pressione tra ambienti, cioè ad una differente quantità di vapore presente nell'aria. Lo spostamento avviene da ambienti a pressione di vapore maggiore verso ambienti a pressione di vapore minore.

Dall'analisi dei fenomeni di trasmissione del calore e di diffusione del vapore è possibile ricavare i profili delle temperature e della pressione del vapore attraverso l'elemento edilizio.

Quando in un punto di quest'ultimo la pressione di vapore raggiunge la pressione di saturazione (che è funzione della temperatura in quel punto), si ha la condensazione del vapore.

Tale fenomeno riguarda solitamente le chiusure esterne di un edificio, si verifica in condizioni invernali ed è distinto in:

- condensa superficiale;
- condensa interstiziale.

La condensa superficiale può rapidamente causare la formazione di muffe e funghi con relativi fenomeni di insalubrità dell'ambiente interno. La ventilazione è l'unico modo di diminuire l'umidità interna ed evitare dunque la condensa superficiale.

La condensa interstiziale è estremamente pericolosa in quanto non è immediatamente visibile e può così danneggiare isolanti e altri materiali edilizi.

La norma UNI EN ISO 13788 fornisce metodi di calcolo per definire:

- la temperatura superficiale interna di componenti o elementi edilizi al di sotto della quale è probabile la crescita di muffe, in funzione della temperatura e dell'umidità relative interne; la stessa metodologia può essere anche utilizzata per la previsione del rischio di altre problematiche di condensazione superficiale;
- la valutazione del rischio di condensazione interstiziale causata dalla diffusione del vapore acqueo. Il metodo usato non tiene conto di alcuni importanti fenomeni fisici quali:
 - la variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità;
 - la risalita capillare e il trasporto di umidità allo stato liquido all'interno dei materiali;
 - il movimento dell'aria nei componenti, attraverso fessure o intercapedini;
 - la capacità igroscopica dei materiali.
 Di conseguenza il metodo può essere applicato solo a strutture nelle quali questi fenomeni possono essere considerati trascurabili;
- il tempo che l'acqua, contenuta in uno strato compreso tra due strati con elevata resistenza al passaggio del vapore, impiega ad asciugare, nonché il rischio di condensazione che può verificarsi in altri strati del componente durante il processo di asciugatura.

La norma UNI EN 12086, che tratta la “Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo”, definisce la permeabilità al vapore (δ) come la quantità di vapore acqueo trasmessa nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie del prodotto, per unità di differenza di pressione di vapore tra le sue facce per spessore unitario [$\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa})$].

Il rapporto tra la permeabilità al vapore acqueo dell'aria e la permeabilità al vapore acqueo di un materiale è definito come fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ). Si tratta di un valore adimensionale sempre maggiore di 1.

Si riporta di seguito un estratto della tabella relativa ai valori di progetto contenuta all'interno della norma UNI EN ISO 10456.

Quest'ultima identifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per materiali e prodotti per l'edilizia termicamente omogenei. Fornisce inoltre i procedimenti per convertire i valori ottenuti per un insieme di condizioni in quelli validi per un altro insieme di condizioni. La norma fornisce inoltre valori di progetto tabulati che possono essere utilizzati nei calcoli di trasferimento di calore e umidità per materiali termicamente omogenei e prodotti comunemente utilizzati nella costruzione degli edifici.

Material group or application		Density	Design thermal conductivity	Specific heat capacity	Water vapour resistance factor	
		ρ kg/m ³	λ W/(m·K)	c_p J/(kg·K)	μ dry	wet
Timber ^d		450	0,12	1 600	50	20
		500	0,13	1 600	50	20
		700	0,18	1 600	200	50
Wood-based panels ^d	Plywood ^e	300	0,09	1 600	150	50
		500	0,13	1 600	200	70
		700	0,17	1 600	220	90
		1 000	0,24	1 600	250	110
	Cement-bonded particleboard	1 200	0,23	1 500	50	30
	Particleboard	300	0,10	1 700	50	10
		600	0,14	1 700	50	15
		900	0,18	1 700	50	20
	Oriented strand board (OSB)	650	0,13	1 700	50	30
	Fibreboard, including MDF ^f	250	0,07	1 700	5	3
		400	0,10	1 700	10	5
		600	0,14	1 700	20	12
		800	0,18	1 700	30	20

Tabella 19: Valori di progetto per materiali in applicazioni edili generiche -
Estratto relativo a legno e pannelli a base di legno
(fonte: BSI Standards Publication)

7.2.3. Comportamento acustico

Il suono è costituito da onde longitudinali di pressione generate da una sorgente sonora. Può essere generato e trasmesso solo in un mezzo materiale elastico, come l'aria o un qualunque altro gas, ma anche un liquido o un solido; di conseguenza non si propaga nel vuoto.

L'onda sonora mette in vibrazione le particelle dell'aria determinando un susseguirsi di stati di compressione e rarefazione. Non si ha un trasporto di materia, ma un'oscillazione delle particelle d'aria attorno alla loro posizione di equilibrio con una fluttuazione della pressione attorno al valore della pressione atmosferica.

Trattandosi di un'onda, un suono è definito dalle seguenti grandezze:

- frequenza (f) [Hz]: è il numero di oscillazioni effettuate in un secondo;
- velocità di propagazione (C) [m/s]: dipende dalle caratteristiche (densità e temperatura) in cui il suono si propaga. Viaggia più lentamente nei gas, più velocemente nei liquidi e nei solidi. In questi ultimi la velocità dipende dal modulo elastico E [N/m²] e dalla densità.

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

I materiali più rigidi, come ad esempio i metalli, determinano una maggiore velocità di propagazione, quelli più elastici comportano velocità inferiori e sono in grado di ridurre la trasmissione delle vibrazioni;

- lunghezza d'onda (λ) [m]: è lo spazio richiesto per compiere un'oscillazione completa. E' pari al rapporto tra la velocità e la frequenza;
- pressione acustica (L_p) [dB]: è la variazione di pressione attorno al suo valore di equilibrio. Permette di distinguere l'intensità dei suoni.

Il suono più debole che l'orecchio umano è in grado di percepire è assimilabile a una variazione di pressione pari a $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Per evitare di dover operare con molte cifre decimali è stata dunque introdotta la scala logaritmica dei Decibel. Il livello di pressione sonora (L_p) è dato dal logaritmo del rapporto tra la pressione sonora e la soglia dell'udito assunta come livello zero.

$$L_p = 20 \cdot \log(P/P_0) \text{ [dB]}$$

Un materiale isolante interviene acusticamente in merito a:

- fonoassorbimento, cioè la capacità di assorbire il suono o il rumore incidente;
- fonoisolamento per rumori che si propagano per via aerea, cioè la capacità di ridurre la trasmissione del rumore aereo dall'ambiente disturbante all'ambiente disturbato;
- fonoisolamento per rumori che si propagano a mezzo della struttura.

Il parametro adimensionale in relazione al fonoassorbimento è il coefficiente di assorbimento acustico (α). Esso indica il rapporto tra l'energia sonora assorbita e l'energia sonora incidente. Il parametro che caratterizza invece il fonoisolamento per rumori che si propagano per via aerea è il potere fonoisolante (R).

$$R = 10 \log(1/t) \text{ [dB]}$$

dove t è il coefficiente di trasmissione dato dal rapporto tra energia sonora trasmessa ed energia sonora incidente. Poiché esso varia in funzione della frequenza, spesso viene riportato un unico valore dato dall'indice di potere fonoisolante R_w . Quando invece si tratta di misurazioni in opera piuttosto che in laboratorio si parla di indice di potere fonoisolante apparente R'_w .

In ultimo, il parametro che caratterizza il fonoisolamento per i rumori da impatto che si propagano per via strutturale è il livello di rumore da calpestio L_w . Anche in questo caso, poiché il valore varia alle diverse frequenze, si può fare riferimento all'indice unico L'_w .

E' importante tenere in considerazione il fatto che la prestazione fonoisolante (sia quella aerea sia quella a mezzo della struttura) è una caratteristica dell'intero elemento edilizio e non di un singolo strato o materiale.

7.2.4. Comportamento al fuoco

I materiali isolanti, così come tutti i materiali da costruzione, sono soggetti ad una classificazione di reazione al fuoco, secondo la quale viene designato il grado di partecipazione di un determinato materiale al fuoco cui è sottoposto.

Si tratta di un fenomeno complesso a causa della dipendenza da parametri diversi:

- **infiammabilità**: capacità di un materiale di entrare e permanere in stato di combustione, con emissione di fiamme e/o durante l'esposizione ad una sorgente di calore;

- **velocità di propagazione delle fiamme:** velocità con la quale il fronte di fiamma si propaga in un materiale;
- **gocciolamento:** capacità di un materiale di emettere gocce di materiale fuso dopo e/o durante l'esposizione a una sorgente di calore;
- **post-incandescenza:** presenza di zone incandescenti che potrebbero innescare nuovamente il fuoco dopo lo spegnimento della fiamma;
- **sviluppo di calore nell'unità di tempo:** quantità di calore emessa nell'unità di tempo da un materiale in stato di combustione;
- **produzione di fumo:** capacità di un materiale di emettere un insieme visibile di particelle solide e/o liquide in sospensione nell'aria risultanti da una combustione incompleta in condizioni definite;
- **produzione di sostanze nocive:** capacità di un materiale di emettere gas e/o vapori in condizioni definite di combustione.

I primi quattro degli elencati parametri vengono presi in considerazione nella classificazione illustrata nel D.M. del 26 giugno 1984 e successive modifiche e integrazioni contenute nel D.M. del 3 settembre 2001.

Tale decreto, per primo in Italia, ha stabilito norme, criteri e procedure per la classificazione di reazione al fuoco e l'omologazione dei materiali al fine della prevenzione degli incendi.

I materiali sono identificati con classi numeriche da 0 a 5 con l'aumentare della partecipazione alla combustione. Secondo questa classificazione, i materiali con classe di reazione al fuoco 0 sono incombustibili e non necessitano di essere sottoposti ad alcuna prova di omologazione, obbligatoria invece per tutti i materiali appartenenti alle altre classi.

Classe	Definizione
0	materiali incombustibili
1	materiali combustibili non infiammabili
2	materiali combustibili difficilmente infiammabili
3	materiali combustibili infiammabili
4	materiali combustibili facilmente infiammabili
5	materiali combustibili estremamente infiammabili

Tabella 20: Classificazione dei materiali secondo il D.M. 26 giugno 1984

Con il D.M. del 10 marzo 2005, in seguito alla pubblicazione della norma UNI EN 13501-1:2005, si sostituisce alla classificazione italiana quella europea in Euroclassi dalla A1 (materiale incombustibile) alla F, con l'aumentare della partecipazione alla combustione.

Euroclasse	Materiali di esempio
A1, A2	lana di roccia, pannelli a base di gesso
B	pannelli a base di gesso verniciato
C	pannelli a base di gesso con tappezzeria cartacea
D	legno
E	EPS ignifugo
F	EPS, materiali non testati

Tabella 21: Classificazione dei materiali secondo norma UNI EN 13501-1

Il sistema di classificazione europeo dà priorità alla valutazione del rilascio di calore in funzione del tempo.

Alle classi di reazione al fuoco possono poi essere aggiunti dei suffissi che indicano l'applicabilità dei prodotti:

- **FL** per i pavimenti;
- **L** per prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico;
- **CA** per i cavi elettrici.

Un'ulteriore classificazione attribuisce codici utili all'identificazione del comportamento dei materiali in riferimento a:

- **s** (da smoke) per il livello di produzione di fumo (valido per i prodotti da costruzione e per i pavimenti, ma non per i prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico e per i cavi elettrici);
- **d** (da drops) per il rilascio di gocce o particelle ardenti (valido per i prodotti da costruzione, ma non per i pavimenti, prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico e per i cavi elettrici).

Ciascuno di questi parametri aggiuntivi ha una propria sotto-classificazione da 0 (assente) a 3 (elevato).

Secondo quanto elencato precedentemente, un prodotto da costruzione potrebbe avere ad esempio euroclasse "Cs1,d2", mentre un pavimento potrà avere euroclasse "BFLs3".

Classi aggiuntive per la produzione di fumo		Classi aggiuntive per la produzione di gocce ardenti	
s1	l'elemento strutturale può emettere una quantità estremamente limitata di gas di combustione	d0	l'elemento strutturale non deve emettere gocce o particelle aderenti
s2	l'elemento strutturale può emettere una quantità limitata di gas di combustione	d1	è possibile che vengano rilasciate limitate quantità di gocce o particelle aderenti
s3	non è prevista alcuna limitazione della produzione di gas di combustione	d2	non è prevista alcuna limitazione della produzione di gocce e particelle aderenti

Tabella 22: Classificazione delle classi aggiuntive secondo norma UNI EN 13501-1

Il nuovo sistema di classificazione risulta così estremamente più articolato e difficilmente comparabile a quello italiano: l'organizzazione in classi principali e aggiuntive genera un ventaglio di combinazioni decisamente più ampio di quello previsto dal sistema italiano.

Persistono tuttavia alcune regole tecniche di prevenzione degli incendi in cui si richiede l'impiego di prodotti che fanno riferimento al sistema di classificazione italiano. Per risolvere questa problematica, in funzione del tipo di impiego previsto, vengono indicate quali sono le corrispondenti classi europee utilizzabili.

La reazione al fuoco dei materiali isolanti e il loro comportamento in caso di incendio sono estremamente vari a seconda del materiale di base e delle sostanze a questo aggiunte (resine, leganti, additivi, agenti espandenti).

7.2.5. Comportamento meccanico

Il comportamento meccanico di un materiale da costruzione isolante risulta di particolare interesse quando questo è soggetto a carichi.

Per quanto riguarda i carichi distribuiti esistono due valori che indicano il comportamento alla compressione. Si tratta di:

- sollecitazione a compressione al 10% di deformazione (σ_{10});
- resistenza a compressione (σ_m).

Entrambi i valori sono espressi in kPa e le modalità di test e di calcolo per la loro determinazione sono contenute nella norma UNI EN 826.

Secondo tale norma, ai materiali isolanti viene assegnato un livello in base alla seguente tabella:

Level	Requirement kPa
CS(10\Y)5	≥ 5,0
CS(10\Y)10	≥ 10
CS(10\Y)20	≥ 20
CS(10\Y)30	≥ 30
CS(10\Y)40	≥ 40
CS(10\Y)50	≥ 50
CS(10\Y)60	≥ 60
CS(10\Y)70	≥ 70
CS(10\Y)80	≥ 80
CS(10\Y)90	≥ 90
CS(10\Y)100	≥ 100
CS(10\Y)150	≥ 150
CS(10\Y)200	≥ 200
CS(10\Y)250	≥ 250
CS(10\Y)300	≥ 300
CS(10\Y)350	≥ 350
CS(10\Y)400	≥ 400
CS(10\Y)500	≥ 500

Tabella 23: Livelli di resistenza a compressione e relativi requisiti da UNI EN 826
(fonte: BSI Standards Publication)

8. I materiali isolanti ecosostenibili

Il mercato offre oggi una vastissima varietà di prodotti in ogni tipo di settore. Tra questi, anche quello dei materiali isolanti per l'edilizia si trova nella medesima condizione.

Molti produttori nascondono dietro ad etichette e termini talvolta ambigui come "sostenibile", "eco", "bio" e molti altri, prodotti che invece richiedono grandi quantità di materie prime vergini e processi produttivi estremamente energivori ed inquinanti sotto molteplici punti di vista.

Occorre dunque prendere in considerazione elementi di valutazione chiari ed oggettivi che possano consentire una comparazione veritiera di diversi prodotti al fine di compiere scelte consapevoli.

8.1. Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP)

La Dichiarazione Ambientale di Prodotto, conosciuta anche come EPD (Environmental Product Declaration), è uno schema di certificazione volontaria sviluppatosi inizialmente in Svezia e successivamente riconosciuto a livello internazionale, che fa parte delle politiche ambientali comunitarie.

E' pensata per migliorare la comunicazione ambientale tra produttori (business to business) e produttori e consumatori (business to consumers). Rientra infatti nell'ambito della "Politica Integrata di Prodotto (IPP)", strumento comunitario orientato allo sviluppo sostenibile, che si propone l'integrazione degli strumenti attraverso i quali sono stabilite e sviluppate le politiche ambientali, al fine di ridurre gli impatti ambientali legati al ciclo di vita dei prodotti, intesi sia come beni che come servizi.

La EPD è derivante dalle norme della serie ISO 14020 *Etichette e dichiarazioni ambientali – Principi generali*, ed è fondata sull'esplicito utilizzo del Life Cycle Assessment, fondamento metodologico da cui scaturisce l'oggettività delle informazioni fornite.

Esistono tre diversi tipi di etichettature ambientali, istituite dalle norme ISO serie 14020:

- TIPO I: etichette ecologiche volontarie basate su un sistema multicriterio che considera l'intero ciclo di vita del prodotto, sottoposte a certificazione esterna da parte di un ente indipendente (tra queste rientrano il marchio europeo di qualità ecologica ECOLABEL e quello italiano ANAB - ICEA). (ISO 14024);
- TIPO II: etichette ecologiche che riportano auto-dichiarazioni ambientali da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, senza che vi sia l'intervento di un organismo indipendente di certificazione (tra le quali "Riciclabile", "Compostabile", ecc.). (ISO 14021);
- TIPO III: etichette ecologiche che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e che contengono una quantificazione degli impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto calcolato attraverso un sistema LCA. Sono sottoposte a un controllo indipendente e presentate in forma chiara e confrontabile. Tra di esse rientrano, ad esempio, le "Dichiarazioni Ambientali di Prodotto". (ISO 14025).

In particolare, la DAP, etichettatura di tipo III, è un documento con il quale si comunicano informazioni oggettive, confrontabili e credibili relative alla prestazione ambientale di prodotti e servizi. Tali informazioni hanno carattere esclusivamente informativo, non prevedendo modalità di valutazione, criteri di preferibilità o livelli minimi che la prestazione ambientale debba rispettare.

8.2. Fibra di legno

La fibra di legno è un materiale ottenuto da scarti di legno di qualsiasi specie provenienti da sfoltimento o dalle segherie.

Densità (ρ)	50 – 300 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,038 – 0,048 W/(m·K)
Calore specifico	2100 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	1 – 5
Classe di reazione al fuoco	E

Tabella 24: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in fibra di legno

- Grazie all'elevato calore specifico presenta, rispetto ad altri materiali isolanti, una maggior capacità di accumulo del calore.
- La struttura a pori aperti, permeabile al vapore, consente un'ottima traspirabilità.
- In caso di incendio non si producono normali gas di combustione del legno.
- E' un materiale igroscopico, l'umidità che viene assorbita penetra all'interno della fibra stessa e lo spazio tra le fibre, responsabile della porosità del materiale, rimane pieno d'aria.

Vengono prodotti pannelli impermeabilizzati con sostanze quali bitume o resine naturali da utilizzare sotto il manto di copertura, in cappotti esterni ventilati, per applicazioni interne in presenza di umidità.

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

Tabella 25: Possibili applicazioni dell'isolamento in fibra di legno
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

I pannelli in fibra di legno vengono prodotti con densità differenti a seconda del tipo di utilizzo cui sono destinati:

- un pannello in fibra di legno a bassa densità (circa 50 kg/m^3) ha un valore di conducibilità termica pari a circa $0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, è flessibile, ha poca resistenza alla compressione e scarso contributo allo sfasamento e allo smorzamento dell'onda termica.

E' dunque idoneo per l'isolamento in intercapedine e di spazi intermedi tra le strutture;

- un pannello in fibra di legno a media densità (circa 150 kg/m^3) ha una conducibilità termica di circa $0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ e una buona resistenza a compressione;
- un pannello in fibra di legno ad alta densità (oltre 250 kg/m^3) può raggiungere un valore di conducibilità termica pari a $0,048 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, ma migliore ulteriormente nelle caratteristiche meccaniche e fornisce un buon contributo allo smorzamento e allo sfasamento dell'onda di calore.

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

Gli scarti vengono tagliati, macinati e sfibrati mediante opportuni trattamenti meccanici. I pannelli vengono realizzati mediante un processo a umido. Le fibre ottenute vengono impastate con acqua calda (4-5%), emulsioni idrorepellenti (paraffina 0,5-1,5%) e solfato di alluminio (0,5-2%) che, oltre ad essere antitarmico e antiparassitario, attiva le proprietà naturali della resina naturale propria del legno (lignina), senza che sia necessaria l'aggiunta di ulteriori leganti.

Per realizzare pannelli idrorepellenti resistenti all'acqua viene aggiunto il 10% di una sostanza impermeabilizzante: bitume, lattice, cera colofonia e altre resine naturali.

L'impasto viene steso in stampi e, dopo aver aspirato l'acqua di processo, viene sottoposto a compressione proporzionale alla densità voluta ed essiccato a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ in appositi forni. Molti pannelli vengono realizzati incollando singoli strati con un collante atossico a base di acetato di polivinile. Vengono anche prodotti pannelli in fibra di legno a bassa densità, flessibili e lavorabili, attraverso la miscelazione in un unico impasto di fibre di legno, legante a base di poliolefine e sali acidi di minerali azotati come trattamento antincendio.

Si trovano inoltre in commercio pannelli isolanti realizzati tramite un processo a secco certificato NaturePlus, in cui le fibre, macinate molto finemente, vengono impastate con legante poliuretano (contenuto di formaldeide inferiore al 6%) e formate a compressione. Si ottengono pannelli che, pur avendo bassa densità, presentano elevata resistenza alla compressione e all'umidità.

8.3. Sughero

Il sughero si ricava dalla corteccia della quercia da sughero, che può essere prelevata solo intorno al 20° anno di età della pianta, quando il tronco, irrobustitosi, ha raggiunto una circonferenza di 30-40 cm.

Densità (ρ)	110 – 130 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,039 W/(m·K)
Calore specifico	1900 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	7 – 20
Classe di reazione al fuoco	E

Tabella 26: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in sughero

Il tessuto del sughero è costituito da milioni di cellule di forma poliedrica contenenti aria; questo conferisce leggerezza, elasticità, notevole resistenza a sollecitazioni fisiche e ottime proprietà di isolamento termoacustico ai pannelli realizzati con questo materiale.

- Il sughero possiede inoltre un'elevata capacità di accumulo termico e dunque di smorzamento delle fluttuazioni di temperatura.
- E' un materiale traspirante e permeabile al vapore.
- E' inattaccabile dalla maggior parte degli agenti acidi e inappetibile per insetti, roditori e volatili.
- E' un ottimo schermo nei confronti delle onde elettromagnetiche provenienti da strutture metalliche presenti nelle costruzioni.
- E' idrorepellente e impermeabile all'acqua, imputrescibile anche in condizioni di umidità, tuttavia, se l'umidità è permanente, possono formarsi delle muffe.
- In caso di incendio non propaga la fiamma, brucia lentamente e si autoestingue al cessare della fiamma.

L'isolamento in sughero può essere effettuato, a seconda delle diverse esigenze ed applicazioni, in diverse forme:

- granulare;
- granulare impastato;
- in pannelli.

Il sughero granulare trova applicazione in intercapedini di pareti, coperture, solai e in sottotetti non praticabili; l'applicazione in intercapedini verticali può determinare il formarsi di ponti termici in quanto tende ad assestarsi lasciando vuoti in alto. Il sughero granulare impastato con acqua e legante idraulico o specifico vetrificante viene utilizzato per realizzare sottofondi isolanti praticabili e per il riempimento di intercapedini verticali ove si vogliono evitare eventuali assestamenti.

I pannelli vengono applicati in pareti perimetrali (intercapedini, cappotti interni ed esterni) e pareti divisorie, in coperture piane e a falda, controsoffitti, sottotetti, sottopavimenti e solai. Per molti usi il sughero riciclato è efficiente come il sughero vergine ed è più economico.

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

Tabella 27: Possibili applicazioni dell'isolamento in sughero
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo dei granuli (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

Dalla prima decortica della pianta si ricavano le cortecce, accatastate nei centri di raccolta per la stagionatura. Dopo la stagionatura, di almeno 2 anni, le cortecce vengono immerse in una vasca contenente acqua bollente per 1-2 ore, successivamente estratte e lasciate asciugare per alcuni giorni. La bollitura rende le cortecce più elastiche e più facilmente lavorabili. Queste vengono poi frantumate e macinate in appositi mulini. I granuli ottenuti, ventilati e ripuliti dalle scorie porose e legnose, selezionati nelle varie granulometrie mediante filtraggio in apposite griglie, costituiscono il granulato naturale di colore biondo (80-120 kg/m³). Si ottiene invece granulato espanso di colore bruno (65-75 kg/m³) dalla frantumazione e macinazione di scarti di pannelli e altri prodotti in sughero agglomerato espanso. In entrambi i casi, i granuli ottenuti vengono successivamente ventilati e ripuliti.

Procedimento produttivo dei pannelli autocollati di colore bruno (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

I pannelli di sughero agglomerato espanso autocollato di colore bruno sono ottenuti dalla cottura dei granuli in forni a pressione (autoclavi) a circa 350-400°C. La pressione e la temperatura fanno sì che la suberina contenuta nei granuli si scioglia e migri in superficie, realizzando il processo naturale di agglomeramento e saldatura tra i singoli granuli, senza aggiunta di ulteriori collanti. Si ottengono pani o blocchi successivamente raffreddati e tagliati in lastre di diverso spessore. Il processo di espansione, detto anche "tostatura", determina il caratteristico colore bruno, il rigonfiamento dei granuli con conseguente alleggerimento del prodotto (100-110 kg/m³) e una minor resistenza a compressione. L'alta temperatura può determinare la bruciatura superficiale del pannello con perdita di alcune caratteristiche positive e conseguente distruzione parziale o totale di tannino e suberina, favorendo possibili marcescenze in presenza di umidità elevata con possibilità di sprigionamento di sostanze tossiche (fenolo, benzopirene e in genere idrocarburi policiclici aromatici). La produzione dei pannelli espansi autocollati avviene prevalentemente in paesi extraeuropei (Africa Nord-occidentale e Turchia) dove il costo di produzione è

minore, tuttavia risultano minori anche i controlli sulla qualità del prodotto e sul processo di lavorazione, per via di una più scarsa regolamentazione.

8.4. Lana di pecora

La lana di pecora è l'unico isolante di origine animale utilizzato in edilizia. Si tratta di una materia prima avente un consumo energetico ridotto e un impatto ambientale minimo.

Densità (ρ)	10 – 30 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,037 W/(m·K)
Calore specifico	1700 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	1 – 5
Classe di reazione al fuoco	B

Tabella 28: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli morbidi in lana di pecora

- Ha eccellenti proprietà termofonoisolanti, è traspirante e altamente igroscopica.
- Possiede la capacità di assorbire acqua, senza diminuire il proprio potere isolante, fino a un terzo del proprio peso a seconda dell'umidità relativa dell'aria e di cederla all'ambiente se l'umidità relativa dell'aria scende.
- E' in grado di assorbire e neutralizzare le sostanze tossiche presenti nell'aria (formaldeide, ozono, ecc.).
- E' autoestinguente, dunque in caso di incendio non brucia ma si scioglie senza l'emissione di gas tossici.
- Contiene come composto proteico le cheratine, che si distinguono da altre strutture proteiche per la loro particolare resistenza agli agenti chimici e per la loro resistenza meccanica.

A differenza delle fibre vegetali, è attaccabile da tarme e parassiti e deve essere pertanto sottoposta a trattamenti protettivi.

La lana di pecora si presta a essere utilizzata nell'isolamento termico e acustico delle coperture con struttura in legno, dei solai, delle partizioni interne, dei controsoffitti, dei cappotti interni ed esterni ventilati; i feltri a maggior densità e compattezza vengono utilizzati al di sotto di pavimenti galleggianti per ridurre il rumore da calpestio.

Sul mercato si trova in forma di rotoli, materassini e feltri fino a uno spessore di 10 cm. La si può anche trovare sotto forma di fiocchi e di treccia, per riempire piccole intercapedini in pareti, pavimenti, soffitti e per sigillare fessure e interstizi tra murature e infissi.

	isolamento dall'interno	isolamento dall'esterno	Isolamento intercapedine
parete perimetrale	X		X
parete interna			X
parete controterra	X		X
copertura	X	X	

solaio sottotetto	X		
solaio su vespaio	X		
solaio verso cantina	X		
isolamento acustico	X	X	X
tubazioni			

Tabella 29: Possibili applicazioni dell'isolamento in lana di pecora
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

La lana ottenuta dalla tosatura annuale delle pecore viene tagliata, lavata con sapone naturale e sciacquata con idrossido di sodio (soda) per rimuovere il grasso di lana ed eventuali impurità. Per proteggerla dall'attacco di tarme e parassiti viene solitamente eseguito un trattamento standard con l'antiparassitario Eulan ETS della Bayer, che agisce per contatto. Possono poi essere utilizzati anche altri prodotti e i sali di boro che, oltre a migliorare il comportamento al fuoco, hanno effetto antitarmico (rendono il prodotto inappetibile e sgradevole alle tarme senza ucciderle). Il contenuto di tali additivi oscilla tra l'1 e il 2% di peso.

La lana viene successivamente cardata per ottenere veli sottili che, una volta sovrapposti per ottenere gli spessori desiderati, vengono sottoposti a pressatura e agugliatura, procedimento meccanico che utilizza un elevato numero di aghi con il quale si riesce a dosare la quantità di fibra per superficie e permette di ottenere feltri, rotoli e pannelli di diversa densità, spessore e dimensione senza l'utilizzo di leganti. Alcuni prodotti vengono sottoposti ad una lavorazione per mezzo della quale le fibre vengono disposte in senso verticale (così come crescono sul dorso dell'animale) e fissate a una sottile griglia di polipropilene che ne permette una maggior stabilità dimensionale fungendo da sostegno.

8.5. Fibra di canapa

La canapa da fibra è una fibra tessile ottenuta dal floema (o libro) dei fusti delle piante di Cannabis Sativa. E' una specie annuale che cresce naturalmente in zone dal clima temperato, ma che può sopportare climi anche molto differenti. Può essere coltivata sullo stesso terreno per più anni di seguito in quanto non lo impoverisce, ma, al contrario, ne bonifica e ammorbidisce la struttura. Ha elevata resa (70-80 quintali per ettaro) e cresce molto rapidamente. Una volta estratta la fibra tessile o dopo aver raccolto i semi, restano la stoppa e il canapulo, la parte più legnosa già largamente utilizzata in edilizia in tempi antichi.

Densità (ρ)	30 – 190 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,038 – 0,040 W/(m·K)
Calore specifico	1700 – 2300 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	1 – 4
Classe di reazione al fuoco	E

Tabella 30: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in fibra di canapa

- E' un materiale con ottime proprietà di isolamento termoacustico.
- E' traspirante e igroscopica, permette pertanto la regolazione dell'umidità.
- Non contiene sostanze tossiche, è resistente alla muffa, agli attacchi da parte di insetti e roditori, tra le fibre naturali è uno dei materiali meno putrescibili.
- E' un prodotto ecologico che non comporta rischi per la salute né in fase di produzione, né in fase di messa in opera.

I pannelli in fibra di canapa trovano applicazione in intercapedini di pareti a struttura in legno o muratura, di coperture tra le travi e sopra le travi o soletta in laterocemento tra listelli portanti (se a bassa densità) oppure senza listelli portanti (se calpestabile, a densità elevata), in cappotti interni ed esterni ventilati e non (porta intonaco), in pareti divisorie interne, controsoffitti, in sottopavimenti per l'abbattimento del rumore da calpestio.

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

Tabella 31: Possibili applicazioni dell'isolamento in fibra di canapa
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

La raccolta della pianta avviene nel periodo della fioritura e permette di ottenere fibra tessile (20%), stoppa, fibra di qualità inferiore non adatta all'uso tessile (10%) e canapulo, residui legnosi (70%).

In passato le piante venivano sparse sul terreno a seccare, quindi i fusti, privati delle foglie e riuniti in piccoli fasci, venivano sottoposti a macerazione, ossia immersi in vasche poco profonde scavate nel terreno e riempite d'acqua per dar modo ai processi fermentativi, a opera di speciali microrganismi, di scomporre le sostanze "collanti" che tengono unite le fibre al supporto legnoso e agevolarne il distacco.

La stigliatura e la gramolatura erano svolte manualmente e permettevano di separare la fibra vera e propria, o taglio, dai residui legnosi (canapulo). Oggi la fase di essiccazione avviene in appositi forni. Quella di macerazione avviene automaticamente, preferibilmente per via enzimatica, per abbreviare i tempi, tuttavia, la macerazione in acqua produce fibre qualitativamente migliori. Anche le fasi successive avvengono meccanicamente, utilizzando una tecnologia raffinata in parte sviluppata e perfezionata proprio in Italia.

Per la produzione di materiali isolanti le fibre di canapa (85-90%), trattate con soda e sali di boro per migliorarne il comportamento al fuoco, vengono unite a un 10-15% di fibra di poliestere e sottoposte a trattamento termico in appositi forni (termofissaggio), in cui il poliestere si fonde e si salda alla fibra di canapa, fungendo da rinforzo e sostegno. Il processo consente di ottenere pannelli di diversa densità e spessore. Sono commercializzati pannelli che, oltre alla presenza della fibra di canapa e quella di poliestere, hanno un'aggiunta di canapulo (max 50%).

8.6. Fibra di kenaf

La fibra di kenaf è una fibra tessile simile alla juta estratta dall'*Hibiscus Cannabinus*, pianta probabilmente nativa dell'Africa o dell'Asia meridionale.

È una pianta erbacea annuale o biennale che cresce dagli 1,5 ai 3,5 metri di altezza, si può seminare fino a otto volte consecutivamente sullo stesso campo senza perdere in resa di prodotto e prima di lasciare il campo a riposo per uno o due anni.

Densità (ρ)	20 – 100 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,030 – 0,040 W/(m·K)
Calore specifico	1700 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	1 – 3
Classe di reazione al fuoco	B

Tabella 32: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in fibra di kenaf

- È un materiale con ottime proprietà di isolamento termoacustico.
- È traspirante e igroscopico, permette pertanto la regolazione dell'umidità.
- Non contiene sostanze tossiche, è un prodotto ecologico che non comporta rischi per la salute né in fase di produzione, né in fase di messa in opera.

I pannelli semirigidi in fibra di kenaf vengono utilizzati per l'isolamento termico e acustico di intercapedini di strutture in legno e muratura, cappotti interni e cappotti esterni ventilati, coperture ventilate, pareti divisorie interne, controsoffitti, sottopavimenti e solai.

I feltri flessibili trovano applicazione in sottopavimenti per l'abbattimento del rumore da calpestio.

	isolamento dall'interno	isolamento dall'esterno	Isolamento intercapedine
parete perimetrale	X		X
parete interna			X
parete controterra	X		X
copertura	X	X	
solaio sottotetto	X		
solaio su vespaio	X		
solaio verso cantina	X		
isolamento acustico	X	X	X
tubazioni			

Tabella 33: Possibili applicazioni dell'isolamento in fibra di kenaf
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

Le piante di kenaf vengono lasciate seccare in campo; gli steli, ormai privi di linfa, vengono tagliati a 15-25 cm di altezza con la medesima macchina utilizzata per il mais.

Successivamente vengono raccolti e trasportati all'impianto di prima lavorazione, situato entro un raggio di 40-50 km. Come per la canapa, in passato il raccolto e la prima parte della lavorazione avvenivano all'aperto e manualmente. Oggi per ottenere la fibra si utilizzano macchinari appositamente studiati per sfibrare la pianta, separando le fibre dal kenapulo e dalla polvere, che costituiscono altrettante materie prime destinate a usi e lavorazioni diverse.

Per la produzione di materiali isolanti si utilizzano le fibre mediane, ottenute mediante i processi di stigliatura e gramolatura, che si trovano tra le parti corticali esterne e la parte interna legnosa del fusto, il kenapulo appunto. Per mezzo di nastri trasportatori le fibre vengono sottoposte a pulitura mediante aspirazione delle polveri residue (anch'esse riutilizzate da altri impianti) e successivamente sfibrate e ridotte in fiocchi.

Le fibre di kenaf, scorrendo su un nastro trasportatore, vengono addizionate con un processo naturale ignifugo, unite in misura dell'85-90% a un 10-15% di fibra di poliestere e sottoposte a trattamento termico in appositi forni (termofissaggio). In questo modo il poliestere si fonde e si salda alla fibra di kenaf, fungendo da rinforzo e sostegno.

Il processo consente di ottenere pannelli di diversa densità e spessore. Le fibre sono disposte tridimensionalmente e non in strati orizzontali paralleli come accade per analoghi prodotti isolanti, cosa che permette di ottenere pannelli più resilienti a parità di densità.

8.7. Vetro cellulare

Il vetro cellulare è un materiale isolante leggero, rigido e resistente, composto da milioni di cellule di vetro completamente sigillate a struttura alveolare. La maggior parte dei produttori utilizzano ad oggi solamente vetro riciclato.

A seconda della lavorazione si possono ottenere pannelli o granulato di diverse dimensioni.

È particolarmente idoneo in tutte quelle applicazioni in cui sia richiesta l'impermeabilizzazione ad acqua e vapore.

Densità (ρ)	100 – 170 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,036 – 0,050 W/(m·K)
Calore specifico	840 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	∞
Classe di reazione al fuoco	A1

Tabella 34: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in vetro cellulare

- Possiede buone proprietà di isolamento termico che si mantengono costanti nel tempo.
- È totalmente impermeabile all'acqua, al vapore e ai gas. Per questo motivo, nei locali a diretto contatto con il suolo, viene utilizzato anche per la schermatura del gas radon.
- È caratterizzato da rigidità, fragilità, durezza e ha una resistenza a compressione molto elevata.
- È incombustibile e non emette fumi tossici in caso di incendio
- È dimensionalmente stabile anche in presenza di forti escursioni termiche, chimicamente inerte e inattaccabile da parassiti, insetti e roditori.

	isolamento dall'interno	isolamento dall'esterno	Isolamento intercapedine
parete perimetrale		X	X
parete interna			
parete controterra			X
copertura		X	
soffitto sottotetto			
soffitto su vespaio	X		
soffitto verso cantina	X		
isolamento acustico			

Tabella 35: Possibili applicazioni dell'isolamento in vetro cellulare
(fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

Dalla fusione della sabbia silicea in apposito forno, si ottiene vetro puro allo stato fuso che viene estruso e macinato. A questo si aggiunge il vetro riciclato, anch'esso macinato, e al tutto si aggiunge polvere di carbone, responsabile dell'espansione. Il tutto viene convogliato nel forno di

espansione ad una temperatura di 1000-1200°C dove il gas che si forma espande la massa di circa quindici volte il volume originario, conferendole una struttura alveolare.

Il successivo raffreddamento in apposito forno viene graduato per non indurre tensioni che renderebbero fragile il materiale e anche in funzione della resistenza meccanica che si desidera ottenere.

Il materiale si presenta sotto forma di blocchi di schiuma rigida color grigio scuro dai quali, mediante seghe a nastro, si tagliano pannelli, lastre, coppelle, gomiti ed elementi vari. Vengono inoltre prodotte lastre con pendenze integrate per la realizzazione di tetti piani ed elementi prefabbricati costituiti da un pannello di vetro cellulare accoppiato con lastra di gesso fibra per la realizzazione a secco di pavimenti senza betoncino.

8.8. Fibra di legno mineralizzata

La fibra di legno mineralizzata si ottiene mediante un impasto di lana o fibre di legno con magnesite o cemento e additivi mineralizzanti e ignifuganti. In alcuni casi le fibre, ricavate generalmente da abeti, vengono trattate chimicamente e rese inerti e poi miscelate con l'agente mineralizzante (come ad esempio cemento Portland o magnesite).

I pannelli in fibra di legno mineralizzata vengono utilizzati per l'isolamento termoacustico e la protezione dal fuoco di pareti perimetrali e divisorie, controsoffitti coperture e solai. Sono molto utilizzati nella correzione dei ponti termici, nel risanamento di murature umide e nell'isolamento di ambienti contro terra.

Densità (ρ)	350 – 600 kg/m ³
Conducibilità termica (λ)	0,065 – 0,090 W/(m·K)
Calore specifico	1800 J/(kg·K)
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ)	5
Classe di reazione al fuoco	B

Tabella 36: Principali valori relativi alle caratteristiche tecniche dei pannelli in fibra di legno mineralizzata

- Il materiale, in base al tipo di agente mineralizzante può essere altamente resistente al fuoco e non sviluppare né fumi né gas tossici in caso di incendio.
- Grazie alla densità considerevole ed alla elevata capacità termica, i pannelli in lana di legno mineralizzata conferiscono una maggiore inerzia termica alle strutture su cui vengono applicati.
- Pur trattandosi di un isolante e non di un materiale strutturale, le caratteristiche meccaniche sono molto interessanti. Il pannello infatti si deforma solo sotto carichi di notevole entità e, in alcuni casi ha una buona resistenza a flessione.
- I pannelli in fibra di legno-cemento rappresentano un buon supporto per l'intonaco.

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

Tabella 37: Possibili applicazioni dell'isolamento in fibra di legno mineralizzata (fonte: <http://www.casaenergetica.it>)

Procedimento produttivo (da *L'isolamento Ecoefficiente* di A. Fassi e L. Maina)

Dal legname, tagliato, macinato e sfibrato mediante opportuni trattamenti meccanici, si ottiene la lana di legno; questa viene miscelata con magnesite caustica $Mg(OH)_2$, ottenuta dalla calcinazione di magnesite minerale ad alto contenuto di carbonato di magnesio (in forno rotativo a 800-1000 °C di temperatura) e con ossisolfato di magnesio $MgSO_4$ e acqua (in soluzione). Caratteristica della magnesite è di combinarsi con il solfato di magnesio costituendo un prodotto cristallino di forti proprietà leganti, noto come ossisolfato di magnesio, che impregna, lega e mineralizza le fibre di legno.

L'impasto viene versato in stampi da cui vengono formati i singoli pannelli mediante pressione ad alta temperatura (circa 450 °C): questo fa sì che la fibra di legno si svuoti dei contenuti organici deperibili e assorba l'ossisolfato di magnesio che la mineralizza, processo che progredisce nel tempo ed è simile alla fossilizzazione che avviene in natura.

I pannelli vengono successivamente essiccati. La rasatura superficiale dei pannelli preintonacati viene incorporata monoliticamente in fase di formatura ed è costituita da un impasto di fibre di legno molto corte e sottili mineralizzate a caldo con ossisolfato di magnesio.

9. Il quadro normativo

Il Comitato Europeo di Normazione (CEN) ha istituito un apposito comitato tecnico (il CEN/TS 088) avente come obiettivo la normazione nel campo dei materiali e dei prodotti per isolamento termico per l'applicazione negli edifici, includendo l'isolamento per l'attrezzatura installata e per l'isolamento industriale, ricoprendo: terminologia e definizioni, lista delle proprietà richieste, procedure di campionatura, criteri di conformità, specifiche per materiali e prodotti isolanti, valutazione ed etichettatura dell'isolamento di materiali e prodotti.

9.1. Organizzazione della produzione normativa

L'organizzazione della produzione normativa del comitato tecnico prevede una suddivisione dei materiali isolanti in "prodotti" e "sistemi". I prodotti sono a loro volta divisi a seconda del loro impiego:

- impianti degli edifici e per le installazioni industriali;
- edilizia (fabbricato);
- applicazioni di ingegneria civile.

I prodotti vengono poi suddivisi in:

- ottenuti in fabbrica;
- formati in situ;

e infine questi ultimi vengono ulteriormente suddivisi:

- per iniezione;
- spruzzati.

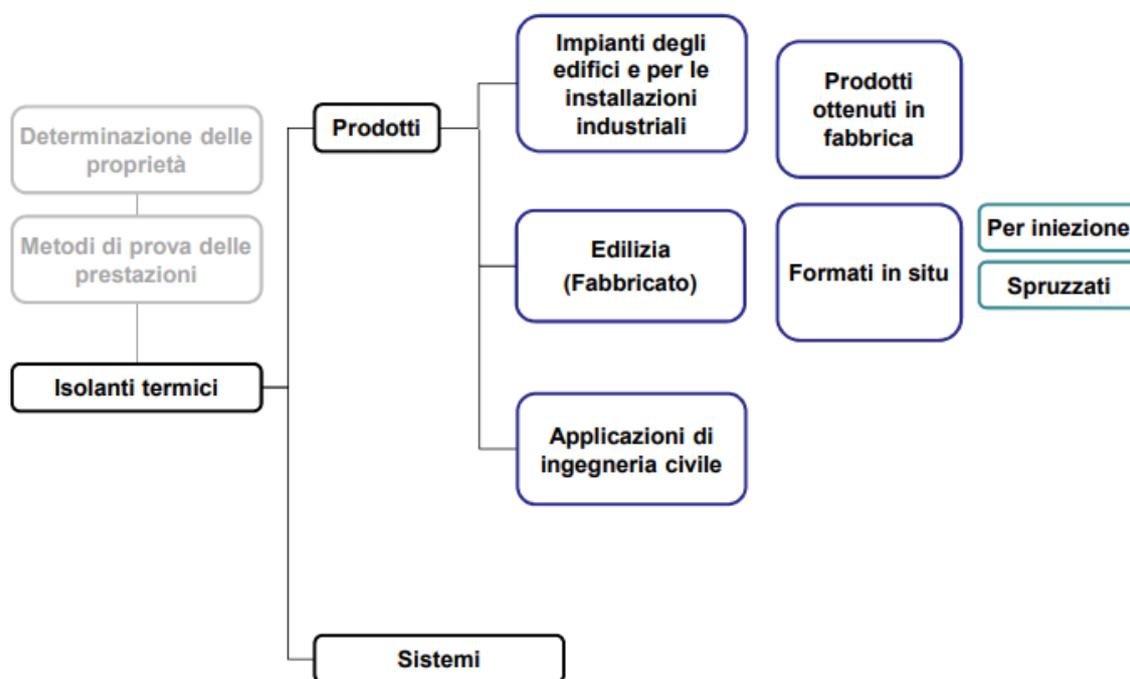


Figura 23: Schema illustrativo sull'organizzazione della produzione normativa (fonte: Comitato Termotecnico Italiano)

La normativa tecnica riguardante i prodotti ottenuti in fabbrica è suddivisa in singole norme EN che trattano i diversi materiali.

Prodotto	Norma
Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica	EN 13162
Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica	EN 13163
Prodotti di polistirene espanso estruso (XPS) ottenuti in fabbrica	EN 13164
Prodotti di poliuretano espanso rigido (PU) ottenuti in fabbrica	EN 13165
Prodotti di resine fenoliche espanse (PF) ottenuti in fabbrica	EN 13166
Prodotti di vetro cellulare (CG) ottenuti in fabbrica	EN 13167
Prodotti di lana di legno (WW) ottenuti in fabbrica	EN 13168
Pannelli di perlite espansa (EPB) ottenuti in fabbrica	EN 13169
Prodotti di sughero espanso (ICB) ottenuti in fabbrica	EN 13170
Prodotti di fibre di legno (WF) ottenuti in fabbrica	EN 13171

Tabella 38: Norme sui principali prodotti isolanti per l'edilizia ottenuti in fabbrica

Ciascuna delle norme sopra citate descrive le caratteristiche di prodotto e include procedure di prova, valutazione di conformità, marcatura ed etichettatura.

Tali norme non trattano i prodotti aventi resistenza termica dichiarata inferiore a $0,15 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, o conducibilità termica dichiarata inferiore a $0,10 \text{ W}/\text{mK}$ a $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Anche la normativa tecnica riguardante i prodotti realizzati in situ segue lo stesso criterio. Esse sono però tutte sdoppiate in due norme, una "parte 1" e una "parte 2".

Nella parte 1, oltre a fornire specifiche per i prodotti isolanti prima dell'installazione, vengono descritte le caratteristiche di prodotto e sono incluse le procedure di analisi, marcatura ed etichettatura. Nella parte 2, invece, vengono descritte le caratteristiche di prodotto collegate ai requisiti essenziali dei prodotti da costruzione dell'UE. La parte 2 specifica inoltre i controlli e le prove da utilizzare per le dichiarazioni rese dall'installatore del prodotto e le regole per la valutazione di conformità.

Prodotto	Norma
Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa realizzati in situ	EN 14063
Prodotti sfusi di lana minerale (MW) realizzati in situ	EN 14064
Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) spruzzati e formati in situ	EN 14315
Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di perlite espansa (EP)	EN 14316
Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di vermiculite espansa (EV)	EN 14317
Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) formati in situ per iniezione	EN 14318
Isolamento termico realizzato in situ con prodotti di cellulosa sfusa (LFCI)	EN 15101

Tabella 39: Norme sui principali prodotti isolanti per l'edilizia realizzati in situ

9.2. Progetto di norma in corso di sviluppo: prEN 17139

In data 1 luglio 2017 è stata pubblicata la norma "prEN 17139 Prodotti per l'isolamento termico composti da fibre vegetali (VFBP) ottenuti in fabbrica".

Con 15 paesi votanti favorevoli, nessuno contrario e 17 astenuti (tra cui anche l'Italia), la norma candidata ad essere armonizzata, tratta di prodotti fabbricati in forma di rotoli, feltri o pannelli. Lo standard copre anche i prodotti composti multistrato. Il documento si applica a tutti i prodotti di isolamento termico costituiti da almeno il 70% di fibre vegetali per massa con o senza l'aggiunta di agenti leganti o fibre e/o additivi e che non rientrano nell'ambito di applicazione della norma EN 13171 riguardante i prodotti di fibre di legno.

I prodotti con conduttività termica dichiarata a 10 °C, maggiore di 0,08 W/mK o resistenza termica dichiarata inferiore a 0,20 m²K/W non sono coperti dalla presente norma. La presente norma europea non copre l'isolamento applicato in situ e i prodotti destinati ad essere utilizzati nell'isolamento di apparecchiature edili e impianti industriali.

9.3. La norma EN 13171

La norma, pubblicata nel 2015, specifica i requisiti per i prodotti di fibre di legno (almeno l'80% in massa) ottenuti in fabbrica, con o senza finiture superficiali o verniciature, che sono utilizzati per l'isolamento termico degli edifici. La norma descrive le caratteristiche del prodotto e comprende procedimenti di prova, valutazione di conformità, marcatura ed etichettatura. La norma non tratta i prodotti con una resistenza termica dichiarata minore di 0,20 m²K/W o una conduttività termica dichiarata maggiore di 0,070 W/mK a 10 °C.

Non essendo ancora stata armonizzata la norma specifica per prodotti per l'isolamento termico composti da fibre vegetali ottenuti in fabbrica, sarà presa in analisi più nel dettaglio la norma sui prodotti di fibre di legno in quanto si ritiene verosimilmente quella con maggiori analogie.

9.3.1 Riferimenti normativi

Si ritiene utile elencare tutti i riferimenti normativi contenuti nella suddetta norma allo scopo di avere un quadro chiaro relativo ai test (e alle inerenti modalità affinché i risultati possano essere considerati attendibili) da effettuare su un eventuale nuovo materiale isolante in fibra di legno ottenuto in fabbrica, così da poterlo certificare e immettere sul mercato.

- EN 822 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della lunghezza e della larghezza;
- EN 823 Isolanti termici per edilizia - Determinazione dello spessore
- EN 824 Isolanti termici per edilizia - Determinazione dell'ortogonalità
- EN 825 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della planarità
- EN 826 Isolanti termici per edilizia - Determinazione del comportamento a compressione
- EN 1602 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della massa volumica apparente
- EN 1603 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni costanti e normalizzate di laboratorio (temperatura 23 °C/umidità relativa 50%)

- EN 1604 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura
- EN 1606 Isolanti termici per edilizia - Determinazione dello scorrimento viscoso a compressione
- EN 1607 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della resistenza a trazione perpendicolare alle facce
- EN 1608 Isolanti termici per edilizia - Determinazione della resistenza a trazione parallela alle facce
- EN ISO 29767 Isolanti termici per edilizia - Determinazione dell'assorbimento d'acqua per immersione parziale su breve periodo
- EN 12086 Isolanti termici per edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo
- EN 12430 Isolanti termici per edilizia - Determinazione del comportamento sotto carico concentrato
- EN 12431 Isolanti termici per edilizia - Determinazione dello spessore degli isolanti per pavimenti galleggianti
- EN 12667 Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti con alta e media resistenza termica
- EN 12939 Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica per mezzo della piastra calda con anello di guardia e del metodo del termoflussimetro - Prodotti spessi con resistenza termica elevata e media
- EN 13172 Isolanti termici - Valutazione della conformità
- EN 13501-1 Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
- EN 13823 Prove di reazione al fuoco dei prodotti da costruzione - Prodotti da costruzione esclusi i pavimenti esposti ad un attacco termico prodotto da un singolo oggetto in combustione
- EN 15715 Isolanti termici - Istruzioni per il montaggio e il fissaggio nelle prove di reazione al fuoco - Prodotti ottenuti in fabbrica
- EN 29052-1 Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali
- EN ISO 9053-1 Acustica - Determinazione della resistenza del flusso d'aria - Parte 1: Metodo del flusso d'aria statico
- EN ISO 354 Acustica - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante
- EN ISO 9229 Isolamento termico – Terminologia
- EN ISO 10456 Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto
- EN ISO 11654 Acustica - Assorbitori acustici per l'edilizia - Valutazione dell'assorbimento acustico
- EN ISO 11925-2 Prove di reazione al fuoco - Accendibilità dei prodotti sottoposti all'attacco diretto della fiamma - Parte 2: Prova con l'impiego di una singola fiamma

- ISO 16269-6 Interpretazione statistica dei dati - Parte 6: Determinazione degli intervalli statistici di tolleranza

9.3.2. Test di laboratorio

Nella tabella sotto, estrapolata dalla versione anglosassone della norma EN 13171 (la BS EN 13171:2012+A1:2015), pubblicata dal British Standards Institution, viene riassunto in modo chiaro ciascun tipo di test da effettuare sui campioni di isolante in fibra di legno, specificando la relativa norma di riferimento, le dimensioni dei campioni per ciascun test, il numero minimo di misurazioni per ottenere il valido risultato di un test e, infine, le eventuali condizioni specifiche richieste dal test.

Clause		Test method	Test specimen length and width ^a	Minimum number of measurements to get one test result	Specific conditions
No	Title				
4.2.1	Thermal resistance — thermal conductivity	EN 12667 or EN 12939	See EN 12667 or EN 12939	1	—
4.2.2	Length and width	EN 822	Full size	1	—
4.2.3	Thickness	EN 823	Full size	Roll, felt and matt: 1 Board and slab: 3	Method B.1 50 Pa or 250 Pa see 4.2.3
4.2.4	Squareness	EN 824	Full size	Board and slab: 1	—
4.2.5	Flatness	EN 825	Full size	Board and slab: 1	—
4.2.6	Reaction to fire of the product as placed on the market	See EN 13501-1 and EN 15715			see EN 15715:2009, Clause 5
4.3.2	Dimensional stability under constant normal laboratory conditions	EN 1603	Full size	1	—
	Dimensional stability under specified temperature	EN 1604	200 × 200	3	
	Dimensional stability under specified temperature and humidity conditions	EN 1604	200 × 200	3	—
4.3.3	Compressive stress or strength	EN 826	200 × 200	5	Surface grinding
			300 × 300	3	
4.3.4	Tensile strength perpendicular to faces	EN 1607	200 × 200	5	—
			300 × 300	3	
4.3.5	Tensile strength parallel to faces	EN 1608	1 000 × 500 or full size	3	
4.3.6	Point load	EN 12430	300 × 300	3	—
4.3.7	Compressive creep	EN 1606	200 × 200	3	Grinding
4.3.8	Short term water absorption	EN 1609	200 × 200	4	Method A
4.3.9	Water vapour transmission	EN 12086	See 6.1 in EN 12086:1997	3	b
4.3.10	Dynamic stiffness	EN 29052-1	200 × 200	3	—
4.3.11	Thickness, d_L	EN 12431			
	Thickness, d_B	EN 12431	200 × 200	3	Class T6, T7
	Long term thickness reduction	EN 1606			
4.3.12	Sound absorption	EN ISO 354	Minimum 10 m ²	1	To be reported
4.3.13	Air flow resistivity	EN 29053	Apparatus dependent	9	Method A
4.3.14	Apparent density	EN 1602	≥ (200 × 200)	3	v
4.3.15	Release of dangerous substances	c	—	—	—
4.3.16	Reaction to fire of the product in standardized assemblies simulation end-use applications	See EN 13501-1 and EN 15715			See EN 15715:2009, Clause 6
4.3.17	Continuous glowing combustion	c	—	—	—

Clause		Test method	Test specimen length and width ^a	Minimum number of measurements to get one test result	Specific conditions
No	Title				
<p>^a Full-size product thickness, except for 4.2.6. when the limit of the test methods are exceeded.</p> <p>^b Exception: When testing products with water vapour barrier, in accordance with EN 12086, the specimen thickness to measure is equal to the water vapour barrier thickness plus (2 to 3) mm.</p> <p>^c Not yet available.</p>					

Tabella 40: Metodi di prova, campioni e condizioni da UNI EN 13171
(fonte: BSI Standards Publication)

9.3.3. Il codice di designazione

La maggior parte dei risultati dei test citati nel paragrafo precedente, sono riassunti all'interno del codice di designazione. Si tratta di un codice che deve essere fornito dal produttore e che contiene le seguenti informazioni:

- codice abbreviato relativo alla fibra di legno (wood fibre abbreviated term):
WF
- riferimento allo standard europeo (European Standard number):
EN 13171
- tolleranze di spessore (thickness tolerances):
Ti
- stabilità dimensionale alla temperatura specificata (dimensional stability at specified temperature):
DS(70,-)
- stabilità dimensionale a specifiche condizioni di temperatura e umidità (dimensional stability under specified temperature and humidity conditions):
DS(23,90) o DS(70,90)
- comportamento a compressione (compressive stress or strength):
CS(10\Y)i
- resistenza alla trazione perpendicolarmente alle facce (tensile strength perpendicular to faces):
TRi
- carico puntuale (point load):
PL(5)i
- scorrimento viscoso a compressione (compressive creep):
CC(i₁/i₂/y) σ_c
- assorbimento d'acqua per breve periodo (short term water absorption):
WSi
- trasmissione del vapore acqueo (water vapour transmission):

MU o Z

- rigidità dinamica (dynamic stiffness):

SDi

- comprimibilità (compressibility):

CPi

- coefficiente pratico di assorbimento acustico (practical sound absorption coefficient):

AP

- coefficiente di assorbimento acustico ponderato (weighted sound absorption coefficient):

AW

- resistenza del flusso d'aria (airflow resistivity):

AFr

Dove "i" è utilizzato per indicare la classe o il livello pertinente o il valore dichiarato, e per lo scorrimento viscoso a compressione " σ_c " deve essere utilizzato per indicare la sollecitazione a compressione e "y" per il numero degli anni.

Un esempio di codice di designazione per un isolante in fibra di legno potrebbe dunque essere il seguente:

WF - EN 13171 - T4 - DS(70,-)2 - CS(10\Y)20 - TR2,5 - WS2,0 - MU5 - AFR5

Dal codice di designazione riportato sopra si saprà dunque che il prodotto:

- è in fibra di legno;
- è normato dalla EN 13171;
- ha una tolleranza di spessore di livello 4, cui corrisponde una tolleranza in difetto di -3 mm e in eccesso del +5% o +5 mm;
- in condizioni costanti stabilizzate in laboratorio per un tempo di 48 ore e ad una temperatura di 70 °C, ha una variazione dimensionale di lunghezza, larghezza e spessore del 2%;
- ha un valore di resistenza alla compressione al 10% di deformazione, superiore o uguale a 20 kPa;
- ha una resistenza alla trazione perpendicolare alle facce superiore o uguale a 2,5 kPa;
- ha un assorbimento d'acqua a breve termine per immersione parziale, inferiore o uguale a 2 kg/m²;
- ha un coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo pari a 5;
- ha una resistenza del flusso d'aria pari a 5 (Pa x s)/m³.

I valori di conducibilità termica e resistenza termica, così come la classificazione di reazione al fuoco, non sono indicati nel codice di designazione.

9.3.4. Valutazione e verifica della costanza della prestazione (AVCP)

Il produttore o il suo rappresentante autorizzato sono responsabili della conformità del prodotto ai requisiti della norma europea. La valutazione e la verifica della costanza delle prestazioni (Assessment and Verification of Constancy of Performance) devono essere eseguite conformemente alla norma EN 13172 e devono basarsi su:

- prove iniziali da effettuarsi necessarie ad identificare il cosiddetto "Prodotto Tipo" (PTD – Product Type Determination);
- prove periodiche da effettuarsi e necessarie a garantire la conformità del prodotto nel tempo (FPC – Factory Production Controls).

Le prove iniziali di tipo (PTD) sono tutti i test iniziali necessari per la verifica di conformità del prodotto da costruzione in esame. Costituiscono il primo passo per l'ottenimento della conformità e quindi del Marchio CE.

I controlli di produzione in fabbrica (FPC) sono controlli periodici necessari per la verifica di costanza della prestazione nel tempo del prodotto da costruzione in esame. Le specifiche prove oggetto di FPC sono indicate all'interno della norma. Sono inoltre specificate la frequenza ed il numero di test da effettuarsi.

9.3.5. Marcatura CE

La marcatura CE è un processo obbligatorio in carico al fabbricante per poter commercializzare un prodotto da costruzione. Tale processo comporta l'effettuazione di due "passaggi" necessari e inscindibili:

- redazione della Dichiarazione di Prestazione (DoP – Declaration of Performance);
- apposizione del Marchio CE: sigla che attesta che un prodotto possiede i requisiti essenziali fissati da una o più normative comunitarie, per evitare che rechi danno alla salute e alla sicurezza degli utilizzatori o all'ambiente.

In sintesi, la marcatura CE permette a un prodotto da costruzione, indipendentemente dalla sua origine, di essere legalmente e liberamente immesso sul mercato

Il simbolo della marcatura CE deve essere conforme ai principi generali di cui all'articolo 30 del regolamento (CE) n. 765/2008 e deve essere apposto in modo visibile, leggibile e indelebile al prodotto in fibra di legno prodotto in fabbrica oppure ad un'etichetta attaccata ad esso.

Laddove ciò non sia possibile o non garantito a causa della natura del prodotto, questo deve essere apposto sull'imballaggio o sui documenti di accompagnamento.

La marcatura CE conferisce a un prodotto il diritto alla libera circolazione sull'intero territorio dello Spazio Economico Europeo, e non ha la finalità di mettere in risalto tutte le caratteristiche tecniche del prodotto in quanto non è da confondere con un marchio di qualità. Essa presuppone piuttosto che i prodotti che presentano il marchio siano idonei all'impiego previsto in relazione alla verifica dei sette requisiti essenziali fissati dal regolamento:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di fuoco;
- igiene, sicurezza e ambiente;

- sicurezza in uso;
- protezione contro il rumore;
- risparmio energetico;
- sostenibilità.

La marcatura CE è seguita da:

- le ultime due cifre dell'anno in cui è stata apposta la prima volta;
- il nome e l'indirizzo registrato del produttore, o il marchio identificativo che consenta facilmente e senza ambiguità l'identificazione del nome e dell'indirizzo del produttore;
- il codice identificativo univoco del tipo di prodotto;
- il numero di riferimento della dichiarazione di prestazione;
- il livello o la classe della prestazione dichiarata;
- il riferimento datato alla specifica tecnica armonizzata applicata;
- il numero di identificazione dell'organismo notificato;
- l'uso previsto come indicato nelle specifiche tecniche armonizzate applicate.

La marcatura CE deve essere apposta prima dell'immissione sul mercato del prodotto da costruzione. Può essere seguita da un pittogramma o da qualsiasi altro segno che indichi in particolare un rischio o un uso speciali.

La figura sotto fornisce un esempio delle informazioni da fornire sul prodotto o su un'etichetta attaccata ad esso.

<p style="text-align: center;">CE</p> <p style="text-align: center;">4567 1234/ 7456</p>	<p style="text-align: center;"><i>CE marking, consisting of the "CE"-symbol</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Identification number of the notified test laboratory/ laboratories</i></p>												
<p style="text-align: center;">AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050 15</p> <p style="text-align: center;">0123 – DoP – 2013/10/07</p>	<p style="text-align: center;"><i>name and the registered address of the manufacturer, or identifying mark</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Last two digits of the year in which the marking was first affixed</i></p> <p style="text-align: center;"><i>reference number of the DoP</i></p>												
<p style="text-align: center;">EN 13171:2012+A1:2015</p> <p style="text-align: center;">ABCD Woodfibreboard</p> <p style="text-align: center;">Th1B</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>R_D</td><td>2,5 m²·K/W</td></tr> <tr><td>λ_D</td><td>0,040 W/(m·K)</td></tr> <tr><td>d_N</td><td>100 mm</td></tr> <tr><td>RtF</td><td>E</td></tr> <tr><td>R_D</td><td>2,5 m²·K/W</td></tr> <tr><td>λ_D</td><td>0,040 W/(m·K)</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CS(10\Y)100; TR10 CC (2.5/2/10)50</p> <p style="text-align: center;">WS2,0 MU5 SD30; T6; CP3,AF_r5 AP1; AW1 AF_r5</p> <p style="text-align: center;">WF – EN 13171 — T3 – DS(70,90)2 – CS(10\Y)100 – TR10 – WS2.0 – MU5 – AF_r5</p>	R_D	2,5 m ² ·K/W	λ_D	0,040 W/(m·K)	d_N	100 mm	RtF	E	R_D	2,5 m ² ·K/W	λ_D	0,040 W/(m·K)	<p style="text-align: center;"><i>No. of European standard applied, as referenced in OJEU</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Unique identification code of the product-type</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Intended use of the product as laid down in the European standard applied</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Thermal resistance</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Reaction to fire – Euroclass</i> <i>Durability of thermal resistance against heat, weathering, ageing/ degradation</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Compressive strength</i> <i>Tensile/ Flexural strength</i> <i>Durability of compressive strength against ageing/ degradation</i> <i>Water permeability</i> <i>Water vapour permeability</i> <i>Impact noise transmission index (for floors)</i> <i>Acoustic absorption index</i> <i>Direct airborne sound insulation index</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Designation code (in accordance with Clause 6 for the relevant characteristics according to Table ZA.1)</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Level or class of the performance declared</i></p>
R_D	2,5 m ² ·K/W												
λ_D	0,040 W/(m·K)												
d_N	100 mm												
RtF	E												
R_D	2,5 m ² ·K/W												
λ_D	0,040 W/(m·K)												

Figura 24: Esempio di etichetta CE da UNI EN 13171
(fonte: BSI Standards Publication)

9.3.6. Dichiarazione di Prestazione (DoP)

La Dichiarazione di Prestazione è il documento legale che descrive le prestazioni dei prodotti da costruzione in relazione alle loro caratteristiche stabilite dalle norme europee armonizzate, con il quale il fabbricante si assume la responsabilità della conformità del prodotto stesso alla prestazione dichiarata.

Tale dichiarazione deve necessariamente essere redatta dal fabbricante all'atto dell'immissione del prodotto sul mercato e deve accompagnare i prodotti da costruzione durante il trasporto in cantiere. La Direzione Lavori dovrà infatti utilizzare la DoP nelle fasi di valutazione di accettazione dei materiali in cantiere.

La Dichiarazione di Prestazione contiene in particolare le seguenti informazioni:

- il riferimento del prodotto-tipo per il quale la dichiarazione di prestazione è stata redatta;
- il sistema o i sistemi di valutazione e verifica della costanza della prestazione del prodotto da costruzione;
- il numero di riferimento e la data di pubblicazione della norma armonizzata o della valutazione tecnica europea usata per la valutazione di ciascuna caratteristica essenziale;
- il numero di riferimento della documentazione tecnica specifica usata ed i requisiti ai quali il fabbricante dichiara che il prodotto risponde;
- l'uso o gli usi previsti del prodotto da costruzione, conformemente alla specifica tecnica armonizzata applicabile;
- l'elenco delle caratteristiche essenziali secondo quanto stabilito nella specifica tecnica armonizzata per l'uso o gli usi previsti dichiarati;
- la prestazione di almeno una delle caratteristiche essenziali del prodotto da costruzione pertinenti all'uso o agli usi previsti dichiarati;
- la prestazione del prodotto da costruzione, espressa in livelli o classi, o in una descrizione, ove necessario sulla base di un calcolo, in relazione alle sue caratteristiche essenziali;
- la prestazione delle caratteristiche essenziali del prodotto da costruzione concernenti l'uso o gli usi previsti, tenendo conto delle disposizioni relative all'uso o agli usi previsti nel luogo in cui il fabbricante intenda immettere il prodotto da costruzione sul mercato;
- per le caratteristiche essenziali elencate, per le quali non sia dichiarata la prestazione, le lettere "Npd" (nessuna prestazione determinata);
- qualora per il prodotto in questione sia stata rilasciata una valutazione tecnica europea, la prestazione, espressa in livelli o classi, o in una descrizione, del prodotto da costruzione in relazione a tutte le caratteristiche essenziali contenute nella corrispondente valutazione tecnica europea.

PARTE TERZA

In questa terza ed ultima parte dell'elaborato sarà illustrato il processo che ha portato alla realizzazione dei campioni dei pannelli isolanti.

Dalla descrizione dell'iniziale collaborazione con una sfilacciatura per la realizzazione di un pannello composto da paglia di riso e polimeri da riciclo, si passerà poi a quella successiva con Novamont S.p.A., che ha permesso la sostituzione dei polimeri tradizionali con dei biopolimeri di origine vegetale. Sarà poi presente una breve digressione sul MATER-BI, biopolimero di proprietà di Novamont, derivante dall'amido di mais, simile dunque al PLA, ma ottenuto mediante una procedura differente.

Seguirà una parte di analisi dei risultati ottenuti, svolta mediante la realizzazione di due differenti tabelle. Grazie a queste saranno messi in evidenza pregi e difetti del nuovo pannello oggetto di studio senza fornire tuttavia valori numerici relativi alle caratteristiche prestazionali a causa della mancanza di risultati ottenuti da specifici test di laboratorio.

10. Studio del nuovo pannello isolante

L'esigenza dello studio di un nuovo pannello isolante utilizzabile nell'ambito della bioedilizia è nata nel momento in cui, progettando edifici residenziali con materiali naturali, ci si è resi conto della mancanza di una soluzione a costi ragionevoli, ma con prodotti che potessero rispettare la filosofia della filiera corta e del ciclo chiuso, da non dismettere in discarica come rifiuto speciale a fine vita, ma da poter riciclare o compostare.

Prodotti a costi accettabili, come ad esempio quelli in fibra di legno, contenevano infatti percentuali variabili, seppur basse, di polimeri utilizzati come legante, mentre i pannelli in sughero, realizzati senza l'utilizzo di sostanze di derivazione petrolchimica, presentavano costi troppo elevati che, già dalle fasi preliminari del progetto, non ne permettevano la fattibilità economica.

Utilizzando già la paglia di riso imballata e posta all'interno di telai in legno come tamponamento per l'involucro edilizio, si è cominciato a ragionare su come utilizzare lo stesso materiale anche per situazioni differenti e che richiedessero spessori minori. Tra le principali:

- eliminazione di ponti termici in corrispondenza di travi e/o pilastri;
- isolamento di contropareti per il passaggio di impianti;
- isolamento di tramezze interne a telaio di spessore complessivo variabile tra i 10 e i 15 cm.

L'utilizzo delle balle di paglia tagliate a metà in senso longitudinale non risolveva infatti il suddetto problema, in quanto erano necessari spessori ancora troppo elevati (circa 22 cm), e comunque non garantivano la velocità e la semplicità di posa in opera richieste per alcuni cantieri e conseguibili solamente mediante l'impiego di pannelli prefabbricati.

Si è dunque cominciato a ragionare sulla possibilità di realizzare pannelli isolanti prefabbricati composti esclusivamente da paglia di riso trinciata e legata mediante l'utilizzo di termopresse che facessero sciogliere la lignina e la cellulosa. Ben presto ci si è però resi conto che la quantità dei due componenti non era sufficiente a dare compattezza ai pannelli e che sarebbe stato dunque necessario prevedere l'impiego di un secondo materiale bassofondente che agisse da legante.

10.1. Pannello in paglia trinciata e polimeri da riciclo

La prima fase ha visto la collaborazione tra RiceHouse e una sfilacciatura presente sul territorio biellese.

Il vocabolario Treccani definisce la "sfilacciatura" come una "operazione dell'industria tessile a cui vengono sottoposti i cascami di lavorazione, i ritagli di confezione, gli stracci, ecc., allo scopo di riutilizzarne le fibre; consiste in uno sfibramento e sfilacciamento del materiale trattato, in modo da ottenere una massa che verrà in seguito immessa, da sola o eventualmente con l'aggiunta di fibre vergini, nel ciclo di lavorazione cardata".

L'idea iniziale era quella di realizzare dei pannelli isolanti composti da paglia di riso trinciata e fibre di lana di pecora, legate tramite l'utilizzo di polimeri bassofondenti riciclati o vergini a se-

conda della disponibilità. L'azienda aveva già a disposizione i macchinari necessari alla creazione di un mix omogeneo di fibre e materiale legante da inviare in un momento successivo ad una seconda azienda che avrebbe realizzato il prodotto finito inserendo la miscela dei tre materiali all'interno di termopresse con stampo.

Da un punto di vista prestazionale si sarebbe riusciti a creare un pannello a bassa densità dalle eccellenti prestazioni tecniche, considerate le ottime proprietà isolanti dei singoli materiali. Il progetto è stato tuttavia abbandonato quando, dopo un'analisi dei costi di produzione, ci si è resi conto che il prodotto finale non avrebbe potuto essere competitivo sul mercato e che, nella migliore delle ipotesi, si sarebbe riusciti a creare un isolante eccellente, ma estremamente di nicchia. L'impiego della lana di pecora, infatti, avrebbe causato un aumento eccessivo dei costi in fase di produzione e, conseguentemente, del prezzo di vendita del prodotto finito.

In un secondo momento, dunque, ci si è indirizzati verso l'idea di realizzare pannelli isolanti ottenuti dalla sola paglia trinciata legata da materiale termoplastico da riciclo, proveniente dalla dismissione di big bag, grossi sacchi in polipropilene utilizzati per il trasporto di diversi materiali, dai rifiuti edili, a quelli agricoli fino ai prodotti alimentari (tra cui lo stesso risone nel passaggio dalla raccolta con mietitrebbia alla riseria). Questi ultimi, a fine vita dopo ripetuti utilizzi, erano presenti in grande quantità presso la sfilacciatura e rappresentavano un problema in termini ambientali ed economici per lo smaltimento.

Da questi è possibile ottenere granuli bassofondenti di polipropilene che spesso trovano utilizzo nel settore automobilistico per la realizzazione di parti interne delle automobili. Utilizzati all'interno del prodotto oggetto di studio, con una percentuale variabile tra il 15% e il 30%, avrebbero permesso di ottenere pannelli morbidi, rigidi o semirigidi.



Figura 25: Big bag pronti per la dismissione nel magazzino della sfilacciatura

In quest'ottica sono stati realizzati alcuni campioni di pannelli isolanti, verificando come effettivamente, grazie ad un processo di pressione della paglia precedentemente trinciata con una lunghezza di circa 4 cm e delle fibre di polipropilene all'interno di stampi ad una temperatura poco superiore ai 160 °C, si ottenesse un prodotto a bassa densità (circa 80 kg/m³) piuttosto promettente: la paglia infatti risultava ben legata e i pannelli erano solidi e resistenti.



Figura 26: Campione di pannello isolante realizzato con paglia trinciata e granuli di polipropilene da riciclo



Figura 27: Dettaglio della struttura a strati del campione

Si trattava però di una soluzione che, seppur tecnicamente valida sarebbe stata solo parzialmente in linea con l'ideologia e i principi di RiceHouse, in quanto, pur utilizzando prodotti di scarto provenienti da due diverse filiere, non si sarebbe comunque ottenuto un pannello compostabile a fine vita, ma da dismettere in discarica come rifiuto speciale, andando così contro il principio del "ciclo chiuso".

10.2. Pannello in paglia trinciata e legante vegetale

Dopo questa esperienza è iniziata così, dopo alcuni mesi di stallo, una seconda collaborazione con Novamont S.p.A., azienda leader a livello internazionale nel settore delle bioplastiche e dei biochemicals.

La sperimentazione con Novamont ha avuto lo scopo di realizzare pannelli isolanti composti da paglia di riso trinciata e legante vegetale invece che plastico.

In un incontro preliminare con il direttore del settore di ricerca e sviluppo dell'azienda presso la sede di Novara si è parlato della composizione chimica della paglia di riso, cercando di capire se alcune componenti avrebbero potuto creare delle problematiche in concomitanza con l'utilizzo dei biopolimeri. In secondo luogo, si è discusso sulla lunghezza delle fibre di paglia, giungendo alla conclusione che, a fronte della duplice possibilità di fornire fibre trinciate con una dimensione variabile tra 1 e 4 cm o tra 4 e 7 cm, sarebbe stato meglio, per il corretto funzionamento di tutto il processo produttivo, fornire fibre con la dimensione inferiore.

Si è inoltre stabilito che, in qualità di legante, sarebbe stato utilizzato il MATER-BI, nome commerciale brevettato e di proprietà di Novamont che individua il materiale bioplastico principe dell'azienda chimica italiana, già estremamente conosciuto per la sua applicazione nella produzione dei comuni sacchetti biodegradabili e compostabili dei supermercati.

10.2.1. Il MATER-BI di Novamont S.p.A.

Il MATER-BI è l'innovativa famiglia di bioplastiche biodegradabili e compostabili di proprietà di Novamont S.p.A., sviluppate grazie a venticinque anni di ricerca e innovazione per offrire soluzioni a specifici problemi ambientali, conciliando qualità e performance dei prodotti con l'efficienza dell'uso delle risorse.

Le componenti essenziali per la produzione del MATER-BI sono amido di mais e oli vegetali, non modificati geneticamente e coltivati in Europa con pratiche agricole di tipo tradizionale. I materiali in MATER-BI, ottenuti da una serie di tecnologie proprietarie e prime al mondo nel campo degli amidi, delle cellulose, degli oli vegetali e delle loro combinazioni, vengono realizzati attraverso una filiera integrata che coinvolge tre siti produttivi italiani. Questi siti, in linea con il modello di bioeconomia intesa come rigenerazione territoriale, sono stati rivitalizzati in innovativi impianti industriali.

Tutti i gradi di MATER-BI sono certificati secondo le principali norme europee ed internazionali presso Enti di Certificazione. Il materiale presenta caratteristiche e proprietà d'uso del tutto simili alle plastiche tradizionali ma, al tempo stesso, biodegradabile e compostabile ai sensi della norma europea UNI EN 13432, il più importante riferimento tecnico per i produttori di materiali, le autorità pubbliche, i compostatori, i certificatori e i consumatori.

Grazie alle sue caratteristiche di biodegradabilità e compostabilità e all'alto contenuto di materie prime rinnovabili, consente di ottimizzare la gestione dei rifiuti organici, ridurre l'impatto ambientale e contribuire allo sviluppo di sistemi virtuosi con vantaggi significativi lungo tutto il ciclo produzione - consumo - smaltimento.

Trova applicazioni, per esempio, nella produzione di imballaggi, giocattoli, posate, stoviglie e buste di bioplastica, in sostituzione dei tradizionali sacchetti in polietilene. E' disponibile in forma di granuli, con diverse formulazioni dette "gradi".

I gradi MATER-BI sono caratterizzati da:

- completa biodegradabilità in diversi ambienti, come ad esempio in compostaggio e in suolo;
- lavorabilità con le stesse tecnologie delle plastiche tradizionali e con produttività simile;
- stampabilità con normali inchiostri e tecnologie di stampa;
- colorabilità in massa con coloranti biodegradabili;
- intrinseca antistaticità;
- sterilizzabilità con raggi gamma.

Nel MATER-BI non vengono impiegati né polimeri non biodegradabili, come il polietilene e il polipropilene, né plastificanti della classe degli "ftalati".

10.2.2. Realizzazione dei campioni

Anche in questo caso la paglia è stata precedentemente trinciata con una dimensione delle fibre variabile dagli 1 ai 4 cm. Una lunghezza inferiore non avrebbe infatti garantito un'adeguata compattezza dei pannelli, mentre una dimensione superiore avrebbe creato problemi ai macchinari in fase di produzione.

La paglia è stata poi mischiata con i granuli di MATER-BI e successivamente immessa all'interno di presse con stampi che hanno permesso di pressare il composto ad una temperatura di circa 180 °C facendo così sciogliere i granuli e, conseguentemente, dare compattezza al pannello.

Sono stati realizzati due campioni di dimensioni 18x18 cm e spessore 2 cm con differenti proporzioni di paglia trinciata e legante vegetale.

A causa di segreti aziendali non possono purtroppo essere fornite ulteriori informazioni circa la realizzazione dei pannelli, che hanno tuttavia ottenuto un riscontro estremamente positivo nonostante le prime prove realizzate avessero dei problemi di compattezza che hanno impedito lo svolgimento dei test di laboratorio in collaborazione con il Politecnico di Torino per la determinazione dei valori di conducibilità termica.

Un secondo problema emerso è stato la mancanza di compatibilità dimensionale tra le presse utilizzate per la produzione e le piastre dei macchinari per la misurazione della conducibilità termica. I campioni potevano essere infatti prodotti con una dimensione massima di 18x18 cm, mentre la dimensione minima per poter effettuare i test presso il Politecnico di Torino avrebbe dovuto essere di almeno 40x40 cm su un singolo campione. In alternativa, si sarebbe potuto anche unire 4 campioni da 18x18 cm, ma i valori ottenuti avrebbero potuto non essere veritieri a causa della non omogeneità del materiale in corrispondenza dei giunti.



Figura 28: Campioni realizzati da Novamont S.p.A. A sinistra il campione contenente una maggiore quantità di biopolimero. A destra il campione contenente una maggiore quantità di paglia trinciata.



Figura 29: Dettaglio del campione contenente una maggiore quantità di biopolimero.



Figura 30: Dettaglio del campione contenente una maggiore quantità di paglia trinciata.



Figura 31: Dettaglio dello spessore del campione contenente una maggiore quantità di paglia trinciata.

Dalle immagini illustrate sopra si può vedere come il campione per la cui realizzazione è stata utilizzata una maggiore quantità di MATER-BI presenti un buon grado di compattezza e stabilità, tuttavia, nella fase di cambiamento di stato da liquido a solido del biopolimero, il campione ha subito un ritiro che ne ha intaccato la regolarità della forma.

Nel secondo campione, invece, dove la quantità di biopolimero è stata ridotta con un conseguente aumento della paglia trinciata, si sono manifestati problemi di compattezza, con la paglia trinciata che risultava eccessivamente friabile, rendendo estremamente delicato l'intero campione.

La migliore soluzione sarebbe dunque stata, con buona probabilità, l'utilizzo di una quantità di biopolimero intermedia rispetto al primo e al secondo campione. A causa delle tempistiche e di altri fattori, non vi è stata tuttavia la possibilità di realizzare nuovi campioni.

10.3. Comparazione con prodotti analoghi

Per comprendere come il nuovo prodotto in fase di sviluppo possa inserirsi nel mercato attuale è stata effettuata un'analisi con prodotti analoghi già attualmente sul mercato.

Il processo è cominciato con la ricerca dei maggiori produttori e/o venditori, per poi individuare i diversi prodotti più venduti nell'ambito delle varie categorie.

Per far sì che i risultati fossero facilmente analizzabili e confrontabili sono poi state realizzate due tabelle, di cui una improntata sulle caratteristiche di sostenibilità in fase di produzione, utilizzo e dismissione, e una seconda sulle caratteristiche tecniche e prestazionali dei diversi prodotti selezionati.

10.3.1. Analisi delle caratteristiche di sostenibilità

In seguito ai campioni illustrati nelle fotografie sopra, come già detto in precedenza, non è stato possibile realizzare ulteriori prove che potessero essere documentate e descritte all'interno di questo lavoro di tesi e, conseguentemente, non sono stati effettuati test di laboratorio in grado di restituire valori numerici inequivocabili per la successiva fase di analisi e confronto.

Ciò non ha impedito tuttavia di stimare valori sulla base di precedenti esperienze di RiceHouse con la ricerca e lo sviluppo di altri materiali e prodotti, anch'essi derivanti dalla filiera del riso. Si ritiene dunque che le tabelle comparative che verranno illustrate di seguito possano fornire informazioni realistiche e veritiere. Per correttezza, tuttavia, non sono stati forniti valori numerici, ma è stato effettuato un lavoro prettamente qualitativo piuttosto che quantitativo, comunque in grado di far comprendere quale potrà essere la collocazione sul mercato del prodotto finale derivante dal presente lavoro.

Nella prima tabella sono stati valutati i seguenti parametri:

- filiera corta;
- economia circolare;

- uso di polimeri;
- uso di suolo;
- compostabilità;
- riuso di prodotti di scarto.

Il confronto è stato effettuato tra:

- fibra di legno;
- fibra di canapa;
- sughero;
- fibra di legno mineralizzata.

In questa fase non sono state fornite informazioni selezionate da schede tecniche specifiche di singoli prodotti per ciascuna categoria, ma è stata fornita un'indicazione rispetto alla maggioranza dei prodotti di quella determinata categoria (ad esempio se 8 su 10 pannelli in fibra di legno contengono sostanze polimeriche, nella tabella risulta che i pannelli in fibra di legno contengono tali sostanze).

caratteristiche	FIBRA DI LEGNO	FIBRA DI CANAPA	SUGHERO	FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA	LANA	PAGLIA DI RISO
 filiera corta	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 economia circolare	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 assenza di polimeri	✗	✗	✓	✓	✗	✓
 no uso di suolo	✓	✗	✗	✗	✗	✓
 compostabilità	✗	✗	✓	✗	✗	✓
 riuso di prodotti di scarto	✓	✗	✗	✗	✗	✓

Tabella 41: Confronto delle caratteristiche di sostenibilità con i diversi pannelli concorrenti

Dalla tabella sopra si evince come il pannello in paglia di riso abbia le migliori caratteristiche di sostenibilità rispetto a tutti gli altri analizzati.

Si riporta qui sotto una breve descrizione per ciascuna delle caratteristiche relativamente al pannello in esame.

- La filosofia e il lavoro di RiceHouse e Novamont, in piena linea con il principio di **filiera corta**, permettono di ottenere un prodotto strettamente legato agli scarti derivanti dal settore dell'agricoltura, con un numero limitato e circoscritto di passaggi produttivi e, in modo specifico, di intermediazioni commerciali, con l'obiettivo primario di contenere i costi al consumo del prodotto.

- Il concetto di **economia circolare** a ciclo chiuso è perfettamente espresso dal ciclo di vita del pannello in paglia di riso: un prodotto agricolo di scarto con evidenti problemi di smaltimento viene raccolto e riutilizzato in una nuova filiera produttiva. Al termine della propria vita, il prodotto può essere compostato e reimmesso all'interno della catena senza alcun tipo di costo in termini ambientali.
- L'utilizzo di sostanze vegetali in qualità di legante del pannello consente di evitare l'utilizzo di **sostanze polimeriche** inquinanti in fase di produzione ed estremamente problematiche in quella di smaltimento. Tale concetto si lega in maniera indissolubile a quello di **compostabilità**: un prodotto contenente sostanze polimeriche perde infatti automaticamente questa caratteristica. Quando le fibre polimeriche si fondono, legano il pannello perdendo ogni possibilità di una eventuale separazione in discarica in fase di dismissione. Il prodotto dovrà essere dunque dismesso in discarica nella sua totalità come rifiuto speciale.
- Il suolo è una risorsa fondamentale ed estremamente lenta nel rigenerarsi. Per definire dunque un prodotto ecocompatibile è necessario che questo non comporti un eccessivo **uso di suolo**. Il riso è ampiamente coltivato, in modo particolare nel nord Italia, ed il fatto che la paglia sia un suo prodotto di scarto ne garantisce un continuo approvvigionamento senza la necessità di coltivazioni apposite, come avviene ad esempio per la canapa e per il sughero.
- Al punto elencato appena sopra si ricollega il discorso del **riuso degli scarti**. Tra i prodotti presi in considerazione nella tabella sopra, gli unici pannelli che già utilizzano prodotti di scarto sono quelli in fibra di legno. La paglia di riso, tuttavia, è l'unica a non richiedere ulteriori lavorazioni se non la trinciatura delle fibre.

10.3.2. Analisi delle caratteristiche tecniche

Successivamente alla prima tabella è stata realizzata la seconda, prendendo in considerazione i parametri principali solitamente presenti sulle schede tecniche di ciascun materiale isolante per l'edilizia:

- densità;
- conducibilità termica;
- calore specifico;
- permeabilità al vapore;
- isolamento acustico;
- prezzo.

In questo caso è stato fatto riferimento ad uno o due prodotti specifici per ciascuna tipologia di pannello, analizzando le schede tecniche rese disponibili sui siti delle diverse aziende che li producono o li commercializzano. Si riportano qui sotto i nomi commerciali di tutti i prodotti messi a confronto:

- Steico Flex 036 (fibra di legno);
- Naturalia BAU Naturatherm (fibra di legno);
- Manifattura Maiano Naturtherm CA (fibra di canapa)
- Technichanvre Technilaine (fibra di canapa)

- Tecnosugheri Corkpan (sughero);
- Celenit N (fibra di legno mineralizzata)
- Manifattura Maiano Naturtherm WO (lana di pecora)

la norma EN 13501-1	E
Valore nominale della conducibilità termica λ_D [W/(m*K)]	0,036
Resistenza termica R_D [(m ² *K)/W]	1,10(40) / 1,35(50) / 1,65(60) / 2,20(80) / 2,75(100) / 3,30(120) / 3,85(140) / 4,40(160) / 5,00 (180) / 5,55(200) / 6,10(220) / 6,65(240)
Valore di calcolo della conducibilità termica λ [W/(m*K)]	0,038
Densità [kg/m ³]	ca. 60
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore acqueo μ	1/2
Calore specifico c [J/(kg*K)]	2.100
Resistenza idraulica relativa alla lunghezza [(kPa*s)/m ²]	≥ 5
Codice rifiuti (EAK-Code)	030105/170201
Componenti	Fibra di legno, fibre poliolefiniche, solfato di ammonio

Tabella 42: Estratto di scheda tecnica di Steico Flex O36
(fonte: Steico)

Dati tecnici		
Densità	kg/m ³	120
Conducibilità Termica dichiarata λ_D	W/mK	0,038
Capacità termica massica c	J/kgK	2400
Resistenza al passaggio del vapore	μ	3
Comportamento al Fuoco	EN 13501	Classe E
Resistenza a compressione al 10% di deformazione CS (10/Y)	kPa	60
Resistenza a Trazione perpendicolare	kPa	> 5
Assorbimento d'acqua per immersione WS		< 1
Codice rifiuti secondo Catalogo Europeo dei Rifiuti	CER	170604
Tolleranza dimensionale - Classe	UNI EN 823	T4
Stabilità dimensionale DS (70,-)		NPD
Resistenza al flusso d'aria AFR	kPa*s/m ³	100
Codice di designazione	EN 13171	WF-EN13171-T4-CS(10/Y)40-TR5-WS1,0-AFR100-MU3
Dichiarazione ambientale EN 15804		FDES

Tabella 43: Estratto di scheda tecnica di Naturalia BAU Naturatherm
(fonte: Naturalia BAU)

COMPOSIZIONE CHIMICA	90% canapa - 10% fibra di poliestere		
PARAMETRO	NORMA	RISULTATO	DENSITÀ E SPESSORI DI RIFERIMENTO
Conducibilità termica	UNI EN 12667	$\lambda = 0,038 \text{ W/mk}$ $\lambda = 0,040 \text{ W/mk}$	50 kg/m ³ 30 kg/m ³
POTERE FONOISOLANTE	UNI EN ISO 140-3 UNI EN ISO 717-1	$R_W = 55 \text{ dB}$	Caso studio di edificio ecocompatibile ad alta efficienza energetica Parete in legno X-Lam con cappotto esterno in fibra di legno e canapa, rivestimento interno in tavole di argilla cruda e controparete in cartongesso isolato con NATURTHERM CA di 120 mm, spessore totale 38,5 cm
Calore specifico	-	$c = 1700 \text{ J/KgK}$	
Classificazione di reazione al fuoco	UNI EN 13501-1	Euroclasse E	
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	UNI EN 12086	$\mu = 1-2$	
Riciclabilità	---	100 %	

Tabella 44: Estratto di scheda tecnica di Naturtherm CA
(fonte: Manifattura Maiano)

Caractéristiques produit

Conductivité thermique sec	$\lambda = 0.040 \text{ W/m.K}$		
Conductivité thermique humide	$\lambda = 0.048 \text{ W/m.K}$		
Chaleur spécifique en 25kg/m	1370 J.kg.K		
Déphasage thermique en 20 cm (25kg/m ³)	4h15min		
Résistance à la traction parallèle aux faces (NF EN 160812 - CSTB)	supporte 2 fois le poids du produit		
Traction perpendiculaire aux faces (NF EN 1607)	4171 N/m ²		
Traction longitudinale (NF EN 1608)			
Réaction au feu Euroclass	F		
Absorption d'eau (EN 1609)	3.70 kg/m ²		
		Humidification partielle (ACERMI)	Pas de variation d'épaisseur
		Coefficient de diffusion de vapeur d'eau (EN 12086)	$\mu = 1$
		Coefficient d'absorption acoustique en 25kg/m ³ (EN ISO 354)	$\alpha = 0.65$
		Affaiblissement acoustique (cloison 96/70 avec laine R25.060)	$R = 41 \text{ dB}$
		Résistance biologique (CUAP)	F3
		Stockage	à l'abri des intempéries, au sec

Tabella 45: Estratto di scheda tecnica di Technichanvre Technilaine
(fonte: Technichanvre)

Caratteristiche Tecniche (EN13170)

Dimensioni: 100 x 50 cm
Densità: 110 - 130 kg/m ³
Conducibilità termica dichiarata: $\lambda_D=0,039$ W/mK
Conducibilità termica provata: $\lambda=0,036$ W/mK
Calore specifico: 1900 J/kgK
Resistenza al passaggio del vapore: $\mu = 20$
Assorbimento di acqua: <0,5 kg/m ²
Reazione al fuoco: Classe E
Rigidità dinamica (50mm spessore): ≤ 126 MN/m ³
Resistenza alla flessione: $\sigma_b \geq 130$ kPa
Resistenza alla compressione: $\sigma_{10} \geq 100$ kPa
Resistenza alla trazione (perp. alle facce): $\sigma_{nt} \geq 50$ kPa

Altre Informazioni

Spessore: da 10 a 320 mm
Stabilità dimensionale: ottima in ogni condizione
Putrescibilità: nulla
Durabilità: sempre superiore alla vita dell'edificio
Prestazioni coibenti dopo 50 anni: immutate
Classificazione COV (composti organici volatili): A+ natureplus®
GWP100 (Effetto Serra): -1,33 kg CO ₂ eq/kg
PEI rinnovabili: 20,391 MJeq/kg PEI non rinnovabili: 5,147 MJeq/kg

Tabella 46: Estratto di scheda tecnica di Tecnosugheri Corkpan
(fonte: Tecnosugheri)

Dati tecnici

Normativa	UNI EN 13168								CE
Codice di designazione	WW-EN13168-L2-W1-T1-S2-CS(10)200-Cl1 (spessori 15-40 mm) WW-EN13168-L2-W1-T1-S2-CS(10)150-Cl1 (spessori 50-75 mm)								
Lunghezza x Larghezza [mm]	2400x600 - 2000x600 - 1200x600								
Spessore [mm]	15	20	25	30	35	40	50	75	
Massa superficiale [kg/m ²]	8,0	10,0	11,5	13,0	14,0	16,0	18,0	26,0	
Conducibilità termica dichiarata λ_D [W/mK]	0,065								
Resistenza termica dichiarata R_D [m ² K/W]	0,20	0,30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,75	1,15	
Resistenza termica R [m ² K/W]	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,61	0,77	1,15	
Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione σ_{10} [kPa]	≥ 200 (spessori 15-40 mm) ≥ 150 (spessori 50-75 mm)								
Resistenza alla diffusione del vapore μ	5								
Calore specifico c_p [kJ/kgK]	1,81 <small>Certificato dall'Università di Bologna - LEBSC no. 809 rev. 07.05.2009</small>								
Reazione al fuoco	Euroclasse B-s1, d0								
Contenuto in cloruri [%]	$\leq 0,35$								

Tabella 47: Estratto di scheda tecnica di Celenit N
(fonte: Celenit)

COMPOSIZIONE CHIMICA		85% lana – 15% poliestere Disponibile anche la versione in pura lana al 100%	
PARAMETRO	NORMA	RISULTATO	DENSITÀ E SPESSORI DI RIFERIMENTO
Conducibilità termica	UNI EN 12667	$\lambda = 0,038 \text{ W/mk}$	20 kg/m ³ 50 mm
Coefficiente di assorbimento acustico	UNI EN ISO 11654	$\alpha_w = 1,00$	20 kg/m ³ 80 mm
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	UNI EN 12086	$\mu = 3,0$	
Permeabilità al vapore acqueo	UNI EN 12086	$\delta = 0,23$	
Calore specifico	-	$c = 1750 \text{ J/KgK}$	
Riciclabilità	-	100 %	
Temperatura d'esercizio	-	- 40°C + 110°C	
Classificazione di reazione al fuoco	UNI EN ISO 13501-1	Euroclasse E	

Tabella 48: Estratto di scheda tecnica di Naturtherm WO
(fonte: Manifattura Maiano)

caratteristiche tecniche	FIBRA DI LEGNO		FIBRA DI CANAPA		SUGHERO	FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA	LANA	PAGLIA DI RISO
	Steico	Naturalia BAU	Manifattura Maiano	Technichanvre	Tecosugheri	Celenit	Manifattura Maiano	RiceHouse
densità								
conducibilità termica da 1 (migliore) a 5 (peggiore)								
calore specifico da 1 (peggiore) a 5 (migliore)								
permeabilità al vapore da 1 (peggiore) a 5 (migliore)								
isolamento acustico da 1 (peggiore) a 5 (migliore)								
prezzo da 1 (economico) a 5 (costoso)								

Tabella 49: Confronto delle caratteristiche tecniche con i diversi pannelli concorrenti

Anche da questo secondo confronto è possibile vedere come il pannello in paglia di riso trinciata eccella in tutte le caratteristiche prese in analisi, dimostrandosi efficiente sotto tutti i punti di vista.

L'analisi delle caratteristiche è stata tuttavia effettuata tenendo come riferimento, per quanto riguarda il pannello sperimentale, dati stimati sulla base di altri prodotti ed esperienze di Rice-House con i materiali derivanti dalla filiera del riso.

La fase successiva, che non rientra in questa tesi per problematiche legate alle tempistiche delle diverse aziende coinvolte e alle prove di laboratorio, sarà effettuata in un secondo momento e avrà come obiettivo lo svolgimento di tutti i test necessari utili ad ottenere i dati specifici e le relative certificazioni per la successiva fase di immissione del nuovo prodotto sul mercato.

PARTE CONCLUSIVA

11. Considerazioni finali

Il lavoro di studio del nuovo pannello isolante è stato un processo piuttosto lento e articolato, reso possibile grazie alla collaborazione con aziende diverse ed alla comune volontà di individuare una soluzione sostenibile da un punto di vista ambientale, ma anche economico.

Tutte le fasi, anche quelle rivelatesi in un secondo momento fallimentari o difficilmente percorribili, hanno fornito un apporto prezioso e indispensabile a tutto il lavoro, andando gradualmente a formare un bagaglio di conoscenze e nozioni senza le quali sarebbe stato impossibile giungere all'obiettivo prefissato.

Molto spesso, infatti, soluzioni che sembravano essere ottime da un punto di vista tecnico e prestazionale, si sono poi rivelate non realizzabili economicamente. Viceversa, soluzioni che avrebbero trovato una fattibilità economica, non andavano a soddisfare i requisiti prefissati affinché il prodotto finale potesse essere definito "sostenibile" in senso lato, e che non fosse solo una delle tante etichette che troppo spesso si possono trovare nel mercato attuale.

Quest'ultima affermazione potrebbe risultare per molti scontata, tuttavia per una persona giovane, che si accinge a introdursi nel complesso mondo del lavoro, spesso molto più articolato rispetto a quello teorico visto durante il percorso di studi, rappresenta un primo importante insegnamento.

Tutta la ampia fase preliminare di analisi, oltre che ad una indispensabile premessa per poter giungere al tema centrale della tesi, è stata anche un'ottima occasione per conoscere in modo più dettagliato e approfondito il mondo degli isolanti presenti nell'attuale panorama e della relativa normativa per poterli testare e immettere sul mercato.

E' emerso come la normativa europea sia ancora incompleta nell'ambito degli isolanti realizzati mediante l'uso di fibre vegetali, ma come d'altra parte ci sia la volontà (individuata nel progetto di norma in corso di sviluppo prEN 17139), per ora limitatamente ad alcuni stati membri dell'Unione Europea, di dirigersi verso quella direzione, che andrebbe ad incentivare ulteriormente lo sviluppo di prodotti vegetali ed, auspicabilmente, ad incrementare l'utilizzo di prodotti di scarto che non solo rimarrebbero altresì inutilizzati, ma andrebbero a causare problematiche ambientali in fase di smaltimento.

Dalla ricerca condotta è emerso inoltre come la stragrande maggioranza dei prodotti isolanti realizzati con materiali naturali, come ad esempio la ormai diffusissima fibra di legno, o la fibra di canapa, che vengono sponsorizzati come ecosostenibili ed environment-friendly, contengano una percentuale (solitamente intorno al 15%, ma variabile in base ai materiali e alle caratteristi-

che dei diversi prodotti) di polimeri che costringe alla dismissione in discarica come rifiuto speciale, impedendo così il riciclaggio o il compostaggio e rendendo impossibile l'attuazione di filiere a ciclo chiuso.

In molte situazioni diventa più conveniente per chi produce e commercia determinati prodotti, "cedere" a compromessi che consentono un abbattimento dei costi e semplificano la fase di produzione, piuttosto che investire maggiormente nelle fasi di ricerca e sviluppo per riuscire a trovare soluzioni più articolate ma efficaci.

A tal proposito considero ammirevole la caparbia e la tenacia di RiceHouse che, anche di fronte a problematiche spesso facilmente risolvibili con soluzioni più convenzionali, non ha mai intrapreso vie alternative più ambigue, mantenendo sempre con rigore la propria filosofia aziendale di economia circolare, filiera corta e ciclo chiuso.

Il lavoro di ricerca, in realtà, è tutt'altro che concluso con il termine di questa tesi, che si pone invece come solida base per ciò che dovrà essere fatto in futuro.

L'obiettivo di completare tutto il lavoro previsto in fase iniziale all'interno di questo elaborato si è scontrato infatti, durante il percorso, con ostacoli relativi alle seguenti tematiche:

- conciliazione delle tempistiche tra le diverse aziende coinvolte;
- segreti aziendali su alcuni processi e risultati ottenuti;
- compatibilità dei formati dei campioni tra i macchinari per la produzione e quelli per i test di laboratorio.

D'altra parte, però, gli studi effettuati hanno permesso di verificare la reale fattibilità del progetto, evidenziando come effettivamente il prodotto in esame non andrebbe ad addensarsi tra la varietà di soluzioni già presenti, ma emergerebbe come un'alternativa completamente naturale e utilizzabile in molteplici situazioni, con un margine di costo poco superiore rispetto, ad esempio, alla fibra di legno, ma con notevoli vantaggi in termini ambientali e di salute per coloro che andrebbero a vivere gli spazi in cui il nuovo isolante verrebbe utilizzato.

L'idea di realizzare un prodotto con queste caratteristiche è nata infatti proprio dall'esigenza di individuare una soluzione che potesse essere un'alternativa ai pannelli in sughero che, nonostante le ottime caratteristiche tecniche e di sostenibilità ambientale, hanno dei limiti legati alla coltivazione della quercia da sughero, che cresce spontaneamente solo nel bacino occidentale del mar Mediterraneo, e/o presentano ancora dei costi troppo elevati per poter essere utilizzati in determinati progetti.

Si può affermare che l'obiettivo sia stato pienamente centrato e persino superato, poiché il pannello oggetto di questa ricerca presenta notevoli vantaggi nella materia prima che, oltre a non richiedere uso di suolo appositamente al fine della sua realizzazione, fornisce una valida soluzione per il riutilizzo di prodotti di scarto il cui smaltimento rappresenterebbe un costo economico ed ambientale.

Lo svantaggio, sempre rispetto al sughero, di non avere un materiale che, così come accade con la suberina, consenta l'incollaggio del pannello al raggiungimento di una certa temperatura, viene risolto mediante l'aggiunta dei polimeri vegetali che, ad un costo contenuto e senza modificare le caratteristiche del prodotto finale in termini prestazionali e ambientali, svolge la medesima funzione. La quantità di lignina e cellulosa contenute nella paglia di riso, che potrebbero svolgere la stessa funzione della suberina nel sughero, non si sono dimostrate infatti sufficienti per realizzare dei pannelli compatti senza l'ausilio del biopolimero.

In conclusione, questa tesi si pone l'auspicabile obiettivo, alla luce di tutto il lavoro svolto e dei risultati soddisfacenti ottenuti, di essere una solida base per l'effettiva immissione sul mercato di un nuovo prodotto, completo di tutti i valori risultanti dai test di laboratorio e della conseguente marcatura CE, oltre che uno stimolo e un invito allo studio di ulteriori soluzioni per l'edilizia moderna in armonia con la salvaguardia dell'ambiente e la direzione normativa dell'Unione Europea per il futuro più recente.

Bibliografia e sitografia

L. Gibellini, C. B. Tomasi, M. Zupo, *Il prodotto moda. Manuale di ideazione, progettazione e industrializzazione*, Clitt Editore, 2012

A. Fassi e L. Maina, *L'isolamento ecoefficiente – Guida all'uso dei materiali naturali*, Milano, Edizioni Ambiente, 2006

R. Fabris, *Appunti del corso di chimica applicata e nobilitazione dei materiali tessili, Indirizzo Sistema Moda: Tessile, Abbigliamento e Moda*, IIS Q. Sella, Biella, 2018

RiceHouse, I prodotti RiceHouse. <https://www.ricehouse.it/prodotti>, 2018 (consultato il 14 marzo 2018)

EUR-Lex, Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>, 2008 (consultato il 26 maggio 2018)

EUR-Lex, Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. «Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse» - COM(2011) 571 definitivo. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:IT:PDF>, 2011 (consultato il 26 maggio 2018)

EUR-Lex, Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. «L'innovazione per una crescita sostenibile: una bioeconomia per l'Europa» - COM(2012) 60 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0060&from=IT>, 2012 (consultato il 26 maggio 2018)

Ec Europa, Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. «Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti» - COM(2014) 398 final. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/IT/1-2014-398-IT-F1-1.Pdf>, 2014 (consultato il 26 maggio 2018)

Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana, DECRETO LEGISLATIVO 3 dicembre 2010, n. 205. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/10/010G0235/sg>, 2010 (consultato il 26 maggio 2018)

Agrocycle, Database/Inventory of the CEREALS AWCB value chain. <http://www.agrocycle.eu/files/2018/02/CEREALS-AWCB-value-chain.pdf>, 2016 (consultato il 27 aprile 2018)

Agrocycle, Characterisation of Agricultural Waste Co- and By-Products. http://www.agrocycle.eu/files/2017/10/D1.2_AgroCycle.pdf, 2016 (consultato il 27 aprile 2018)

Agrocycle, D1.3 Holistic analysis of Agricultural Waste, Co-products and By-products (AWCB) chains and logistics of AWCB valorisation systems. http://multisite.iris.cat/agrocycle/files/2017/12/D1.3_FHolisticAnalysisAWCB.pdf, 2016 (consultato il 27 aprile 2018)

Agrocycle, D1.4 Report on EU regulatory frameworks for AWCB management, environmental, and potential health risks. http://multisite.iris.cat/agrocycle/files/2017/02/D1.4_EURegulatoryFrameworks.pdf, 2017 (consultato il 27 aprile 2018)

Agrocycle, D6.2 Biomass Supply Chain Evaluation. <http://multisite.iris.cat/agrocycle/files/2017/11/D6.2-Biomass-Supply-Chains.V3.compressed.pdf>, 2017 (consultato il 27 aprile 2018)

La riseria, Il chicco di riso. <http://www.riseria.ch/it/Riso/chicco/?oid=1585&lang=it>, (consultato il 27 maggio 2018)

La riseria, Lavorazione del riso. <http://www.riseria.ch/it/Riso/lavorazione/?oid=1589&lang=it>, (consultato il 27 maggio 2018)

Wikipedia, Oryza sativa. https://it.wikipedia.org/wiki/Oryza_sativa, 2018 (consultato il 28 maggio 2018)

Federico d'Este, Riso, cibo di mezzo mondo. <http://biodiversipedia.pbworks.com/w/page/66152383/Riso%2C%20cibo%20di%20mezzo%20mondo%20%21>, 2013 (consultato il 28 maggio 2018)

Ente Nazionale Risi, Chi siamo. <https://www.enterisi.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=17505&idArea=17506&idCat=17515&ID=17515&TipoElemento=categoria>, 2020 (consultato il 28 maggio 2018)

Phyllis2, Rice straw #702. <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis#rice%20straw>, 1998 (consultato il 28 maggio 2018)

T. R. Miles, T. R. Miles, Jr, L. Baxter, R. W. Bryers, B. M. Jenkins and L. L. Oden: Alkali deposits found in biomass power plants. A preliminary investigation of their extend and nature, NREL/TP-433-8142, 82 p., 1995. <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis#wheat%20straw>, (consultato il 28 maggio 2018)

Provincia di Vercelli, Paglia di riso – Problema o Risorsa?. <https://novaberenicedotcom.files.wordpress.com/2016/10/20140619-1002-documento-paglia-definitivo.docx>, 2014 (consultato il 28 maggio 2018)

The textile rooms, Codice meccanografico uniforme europeo elaborato da Comitextil. <http://www.textilerooms.com/tecnical/fibre%20content%20labelling/parte%20ita/fibre-labeling%20part-ita-d.html>, (consultato il 18 settembre 2018)

European Bioplastics, What are bioplastics? <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, 2019 (consultato il 14 maggio 2019)

Chimicaverde, Introduzione ai biopolimeri. <http://www.chimicaverde.it/biopolimeri/>, 2020 (consultato il 9 giugno 2019)

S.M.A.R.T. – TRASH EduFormat, PLA. <https://www.smart-trash-eduformat.com/pla-07.html>, 2015 (consultato il 9 giugno 2019)

Tuttoambiente, La Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP). <https://www.tuttoambiente.it/commenti-premium/dichiarazione-ambientale-prodotto-dap/>, (consultato il 9 giugno 2019)

Casaenergetica, Fibra di legno. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/fibra_di_legno.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Sughero. <https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/sughero.html>, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Lana di pecora. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/lana_di_pecora.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Fibra di canapa. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/fibra_di_canapa.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Fibra di kenaf. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/fibra_di_kenaf.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Vetro cellulare. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/vetro_cellulare.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Casaenergetica, Fibra di legno mineralizzata. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/lana_di_legno_mineralizzata.html, 2019 (consultato il 16 giugno 2019)

Certifico, Reazione al fuoco dei materiali: quadro normativo raccordo it/eu. <https://www.certifico.com/prevenzione-incendi/6472-reazione-al-fuoco-dei-materiali-quadro-normativo-it-eu>, 2018 (consultato il 16 giugno 2019)

Comitato Termotecnico Italiano, G. Murano, C. Miramonti, V. Erba, M. Piana, Atti della Giornata di Studio "La normativa tecnica sui materiali isolanti - Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte". <https://www.cti2000.it/index.php?controller=pubblicazioni&action=show&id=36188>, 2013 (consultato il 16 giugno 2019)

Wikipedia, Marcatura CE. https://it.wikipedia.org/wiki/Marcatura_CE, 2020 (consultato il 29 aprile 2020)

Istituto Giordano, Materiali Isolanti. https://www.giordano.it/uploaded-documents/LaLente/LaLente_6-Materialiisolanti.pdf, 2010 (consultato il 29 aprile 2020)

British Standards Institution, BS EN ISO 10456:2007 - Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, 31 dicembre 2008

British Standards Institution, BS EN 13501-1:2018 - Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from reaction to fire tests, 14 gennaio 2019

British Standards Institution, BS EN 826:2013 - Thermal insulating products for building applications. Determination of compression behaviour, 31 marzo 2013

British Standards Institution, BS EN 13171:2012+A1:2015 - Thermal insulation products for buildings. Factory made wood fibre (WF) products. Specification, 28 febbraio 2013

Novamont, Mater-BI, <https://www.novamont.com/mater-bi>, 2020 (consultato il 19 maggio 2020)

Mater-BI, Cos'è, <http://materbi.com/cose/>, 2020 (consultato il 19 maggio 2020)

Steico, STEICOflex 036, <https://www.steico.com/it/prodotti/materiali-isolanti-in-fibra-di-legno/steicoflex-036/riassunto/>, 2017 (consultato il 16 giugno 2020)

NaturaliaBAU, Naturatherm, <https://naturalia-bau.it/it/prodotti/isolanti/naturatherm/>, 2019 (consultato il 16 giugno 2020)

Manifattura Maiano, Isolante termoacustico in fibra di canapa, <http://www.maiano.it/edilizia/naturtherm-ca-isolante-termoacustico-in-fibra-di-canapa.html>, 2019 (consultato il 16 giugno 2020)

Technichanvre, Isolant chanvre: rouleaux et panneaux. <http://www.technichanvre.com/isolation-chanvre-isolation-ecologique-et-saine/isolant-chanvre-technilaine/isolant-chanvre-rouleaux-et-panneaux/>, 2017 (consultato il 16 giugno 2020)

Tecnosugheri, Corkpan. <https://www.tecnosugheri.it/prodotto/corkpan/>, 2020 (consultato il 16 giugno 2020)

Celenit, Celenit N. <https://www.celenit.com/it/celenit-n.php>, 2018 (consultato il 16 giugno 2020)

Manifattura Maiano, Isolante termoacustico in lana di pecora. <http://www.maiano.it/edilizia/naturtherm-wo-isolante-termoacustico-in-lana-di-pecora.html>, 2019 (consultato il 16 giugno 2020)

Ringraziamenti

Un sentito Grazie a tutte le persone che mi hanno permesso di arrivare fin qui e di portare a termine questo lavoro di tesi e, più in generale, il mio percorso di studi.

Ringrazio il mio relatore, prof. Jean Marc Tulliani, che ha mostrato disponibilità e comprensione nonostante le difficoltà e i cambiamenti in corso d'opera. Ho apprezzato moltissimo la gentilezza e il rispetto che lo contraddistinguono.

Grazie ai miei genitori e a mia sorella, che hanno fatto enormi sacrifici per permettermi di giungere a questo traguardo così importante. Finisce un lungo periodo di pensieri, ansie e discussioni che sicuramente un giorno ripenseremo con il sorriso e un po' di nostalgia.

Grazie a mia nonna, che mi è stata costantemente vicino col pensiero e ha sempre creduto nel mio successo.

Grazie al mio migliore amico Alessandro e, più in generale, a tutti i miei amici che hanno saputo ascoltarmi nei momenti più difficili, regalandomi consigli e momenti di spensieratezza che mi hanno poi permesso di riprendere il cammino con ancora più determinazione.

Grazie a Carlo, Lucia, Elena e Michele, che mi hanno accolto in casa come un membro della famiglia e dato il loro sostegno.

Grazie a Tiziana e tutta RiceHouse, per avermi permesso, da giovane studente universitario, di entrare nel mondo del lavoro e apprendere tante nozioni che hanno integrato il mio percorso di studi, nonché di realizzare questa tesi. Un Grazie particolare al mio collega e amico Elia, che ha saputo fornirmi preziosi consigli e un notevole supporto morale in diverse situazioni.

Grazie, infine, a mio zio Rosario, a cui dedico questa tesi e questo enorme obiettivo raggiunto. La prima persona che ho sempre immaginato essere con me durante questo giorno speciale, sei sempre stata tu. Tuttavia, molte volte le cose non finiscono come ci eravamo immaginati, e questo è solo l'ultimo degli insegnamenti che ho potuto apprendere da te. Nonostante tutto so che, da qualche parte, sarai felice e orgoglioso del mio traguardo.