

# POLITECNICO DI TORINO



Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione del Patrimonio

## **TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

Anno Accademico 2019 - 2020

### **AGROTESs**

Nuovi pannelli rigidi isolanti per l'architettura a base di scarti agroalimentari e tessili



#### **RELATORE:**

Daniela Bosia

#### **CORRELATORI:**

Valentino Manni  
Alessia Patrucco  
Roberto Pennacchio  
Lorenzo Savio

#### **CANDIDATO:**

Fabrizio Angaramo



“A mia mamma,  
a mio papà,  
a mio fratello,  
ai miei zii,  
ai miei parenti,  
ai miei amici,  
ai miei compagni,  
a chi mi è stato vicino”.

**GRAZIE!**



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	9
.....	
<b>1. SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE EDILIZIO</b> .....	11
<b>1.1 L'EDILIZIA E L'AMBIENTE</b> .....	13
- 1.1.1 Gli spazi interni .....	13
<b>1.2 L'ORIENTAMENTO DEGLI ORGANI DI GOVERNO</b> .....	14
<b>1.3 UNA POSSIBILE SOLUZIONE: LA BIOARCHITETTURA</b> .....	16
<b>1.4 PRODOTTI EDILIZI E STRUMENTI DI VALUTAZIONE</b> .....	18
.....	
<b>2. ISOLAMENTO TERMICO ED ACUSTICO DEGLI EDIFICI</b> .....	21
<b>2.1 CONCETTO DI INVOLUCRO EDILIZIO</b> .....	23
<b>2.2 ISOLAMENTO TERMICO</b> .....	24
<b>2.3 ISOLAMENTO ED ASSORBIMENTO ACUSTICO</b> .....	26
<b>2.4 I MATERIALI ISOLANTI</b> .....	28
- 2.4.1 Classificazione dei materiali isolanti .....	28
- 2.4.2 Proprietà dei materiali isolanti .....	29
- 2.4.3 Tecniche di isolamento .....	35
- 2.4.4 Analisi del profilo ambientale degli isolanti .....	36
- 2.4.5 Il mercato degli isolanti naturali .....	39
.....	
<b>3. NORMATIVA SUI RESIDUI DI PRODUZIONE</b> .....	45
<b>3.1 LA GESTIONE DEI RIFIUTI</b> .....	47
- 3.1.1 I vantaggi del sottoprodotto .....	50
<b>3.2 INTRODUZIONE AI RESIDUI AGROALIMENTARI</b> .....	51
- 3.2.1 Residui agricoli da coltivazione o da allevamento .....	52
<b>3.3 INTRODUZIONE AI RESIDUI TESSILI</b> .....	54
.....	
<b>4. RESIDUI AGRICOLI DA ALLEVAMENTO (La lana italiana)</b> .....	57
<b>4.1 LA LANA ITALIANA</b> .....	59
- 4.1.1 Composizione chimica .....	60
- 4.1.2 La lana sucida .....	61
- 4.1.3 Struttura della fibra .....	61
- 4.1.4 Il destino della lana italiana .....	62
- 4.1.5 Alcuni campi di utilizzo .....	64
- 4.1.6 Le razze ovine in Piemonte .....	66

- 4.1.7 Proprietà principali .....	67
.....	
<b>5. RESIDUI AGRICOLI DA COLTIVAZIONE (La paglia di riso e il trinciato di mais)</b> .....	77
<b>5.1 LA COLTURA CEREALICOLA</b> .....	80
<b>5.2 LA FILIERA DEL RISO</b> .....	81
- 5.2.1 Coltivazione del riso .....	82
- 5.2.2 Morfologia della pianta .....	83
- 5.2.2 Sottoprodotti da risicoltura .....	84
<b>5.3 LA PAGLIA DI RISO</b> .....	84
- 5.3.1 Struttura e composizione chimica .....	85
- 5.3.2 Il destino della paglia di riso .....	85
- 5.3.3 Alcuni campi di utilizzo.....	87
- 5.3.4 Proprietà' principali .....	88
<b>5.4 LA FILIERA DEL MAIS</b> .....	93
- 5.4.1 Coltivazione del mais .....	94
- 5.4.2 Morfologia della pianta .....	96
- 5.4.3 Sottoprodotti da maicoltura .....	96
<b>5.5 IL TRINCIATO DI MAIS</b> .....	97
- 5.5.1 Struttura e composizione chimica .....	98
- 5.5.2 Il destino del trinciato .....	98
- 5.5.3 Proprietà principali .....	99
.....	
<b>6. RESIDUI TESSILI DA LAVORAZIONE (Le polveri tessili laniere)</b> .....	105
<b>6.1 L'INDUSTRIA TESSILE LANIERA</b> .....	107
- 6.1.1 La produzione di un tessile laniero .....	107
- 6.1.2 Sottoprodotti dell'industria tessile laniera .....	109
<b>6.2 LE POLVERI TESSILI LANIERE</b> .....	110
- 6.2.1 Struttura e composizione chimica .....	111
- 6.2.2 Il destino delle polveri tessili laniere .....	113
- 6.2.3 Alcuni campi di utilizzo .....	114
- 6.2.4 Proprietà principali .....	116
.....	
<b>7. PANNELLI SPERIMENTALI (AGROTESs)</b> .....	119
<b>7.1 EVOLUZIONE DEL PROCESSO</b> .....	124
<b>7.2 LINEE GUIDA DEL PROCESSO, UNA "RICETTA APERTA"</b> .....	125
<b>7.3 REALIZZAZIONE IN LABORATORIO</b> .....	126

-7.3.1 I pannelli AGROTESs A - B .....	127
-7.3.2 I pannelli AGROTESs C – C1 .....	136
<b>7.4 DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE</b> .....	146
-7.4.1 Il metodo della piastra calda con anello di guardia .....	148
-7.4.2 Organizzazione delle prove .....	148
-7.4.3 Analisi dei risultati e considerazioni .....	150
<b>7.5 POTENZIALITÀ DI UTILIZZO E MODALITÀ DI APPLICAZIONE</b> .....	151
<b>7.6 SCHEDE RISASSUNTIVE DEI PANNELLI AGROTESs</b> .....	154
.....	
<b>CONCLUSIONI</b> .....	159
.....	
<b>BIBLOGRAFIA E SITOGRAFIA</b> .....	163

# **INTRODUZIONE**

Le preoccupazioni ambientali ed energetiche legate al settore edilizio sono molteplici se consideriamo che esso è uno dei settori maggiormente responsabili del cambiamento climatico. Trovare soluzioni sostenibili, che attenuino il più possibile, il problema dell'inquinamento ambientale a tutte le diverse scale legate alle costruzioni, pone una risposta concreta rispetto agli orientamenti attuali delle amministrazioni nazionali ed internazionali, sempre più sensibili verso questi temi, tanto da vincolare, in alcuni casi, le scelte degli operatori economici. La direzione intrapresa è chiara, in uno scenario futuro verranno privilegiati prodotti edili che favoriscono l'uso efficiente e consapevole delle risorse derivanti da modelli economici circolari (non più tradizionalmente lineari) ed il mercato edilizio deve per forza mutare per non farsi trovare impreparato.

Il lavoro di tesi proposto nasce proprio per dare una risposta ai requisiti ecologici richiesti ai materiali edilizi, ma non è solo questo, la volontà ben precisa è inoltre quella di concludere il mio percorso formativo con una ricerca che unisca le due grandi tematiche che lo hanno caratterizzato: il tessile a livello di istruzione secondaria e l'architettura a livello accademico. L'obiettivo della tesi, nello specifico, ha l'ambizione di dare un piccolo contributo alla ricerca sostenibile, realizzando e testando una serie di pannelli rigidi, autoportanti ed innovativi per l'isolamento termoacustico in edilizia, ottenuti attraverso l'utilizzo di residui produttivi (destinati principalmente allo smaltimento legale o illegale) o prodotti (per cui si prospetta un utilizzo migliore di quello attuale o qualora per diverse cause divengano degli scarti) della realtà regionale piemontese derivanti dalle filiere agroalimentari e tessili.

Il lavoro implementa e sviluppa (ponendosi in continuità) un percorso precedentemente avviato da un team di ricerca, composto dal DAD (Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino), dal CNR ISMAC di Biella e da alcune realtà industriali regionali, il quale ha sperimentato, negli anni passati, il concetto e la tecnica produttiva utilizzata per ricavare i pannelli proposti in questo studio. Mediante un processo che sfrutta l'idrolisi basica (o alcalina) della cheratina delle fibre animali lanose, sono stati realizzati ed analizzati quattro pannelli sperimentali, composti nelle diverse variabili, da un mix design di lana italiana, paglia di riso, trinciato di mais e polveri tessili laniere.

La tesi si articola secondo una organizzazione che ne vede la suddivisione in tre parti:

- *prima parte*, introduttiva della materia, suddivisa in due capitoli che affrontano le tematiche della sostenibilità nel settore edilizio, i principali orientamenti e politiche di governo in materia e le soluzioni collegate all'architettura sostenibile, introducendo il concetto fondamentale di isolamento termico e acustico degli involucri edilizi, con un focus specifico approfondito sui materiali isolanti e le loro caratteristiche principali;
- *seconda parte*, suddivisa in quattro capitoli che partono da una analisi del complesso mondo collegato al tema della gestione dei rifiuti per poi definire approfondimenti dedicati, su tutti i residui o prodotti (e le relative filiere di derivazione) utilizzati nel corso della ricerca;
- *terza parte*, costituita da un solo capitolo legato propriamente ed esclusivamente ai pannelli oggetto di tesi denominati *AGROTESs*. Qui si descrive il concetto fondamentale di "ricetta aperta", oltre che tutto l'iter procedurale per la realizzazione dei pannelli sperimentali e le successive attività di test prestazionali effettuate.

# **SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE EDILIZIO**

**1**



**Figura 1** - Monster Building (Hong Kong)  
*(Fotografia di Aleksandar Pasarić da Pexels)*

## 1.1 L'EDILIZIA E L'AMBIENTE

Il mondo dell'edilizia gioca un ruolo responsabile verso i processi di trasformazione ambientale. Infatti, come molti altri settori, esso necessita dell'utilizzo di tante risorse materiali ed energetiche presenti in natura, il quale avviene principalmente in maniera incontrollata e non curante dei gravi impatti causati sull'intero ecosistema.

Uso sfrenato del territorio, grande consumo energetico relativo alla produzione del materiale edilizio, al trasporto e successivamente alla costruzione e gestione dell'edificio, sfruttamento incontrollato di risorse non rinnovabili e produzione di grandi masse di rifiuti da demolizione non riciclabili, rendono il mondo delle costruzioni uno dei principali artefici dell'inquinamento ambientale.

Secondo le stime annuali dei principali organi di controllo e di governo, a livello mondiale, al ramo dell'edilizia (prendendo in considerazione l'intero processo di approvvigionamento delle materie prime, costruzione, gestione e smaltimento dei rifiuti), sono connessi approssimativamente:

- il consumo di oltre 40% dell'energia prodotta;
- l'utilizzo del 50% delle materie prime estratte;
- l'emissione del 40% di gas serra;
- la produzione del 33% di tutti i rifiuti;
- l'impiego di più del 25% di acqua potabile.

Edificare dunque è un'attività ecologicamente attualmente molto dispendiosa, le cui ricadute sull'ambiente hanno ripercussioni dirette sulla salute dell'uomo, andando così ad incrementare patologie più o meno gravi, prevalentemente respiratorie, legate all'inquinamento da urbanizzazione.

### 1.1.1 Gli spazi interni

Da non trascurare, per la salute dell'uomo, sono

soprattutto le tematiche legate agli ambienti interni degli immobili, strettamente collegate alla materia della sostenibilità in questo campo. Comfort e salute umana all'interno di un edificio, sono determinati fundamentalmente dalla qualità dell'aria interna, influenzata principalmente dalla scelta dei materiali da costruzione e dall'utilizzo di sistemi di ventilazione, spesso altamente energivori, che regolano artificialmente il riscaldamento ed il raffrescamento. Dati preoccupanti emergono se si considera che circa il 40% dei materiali utilizzati per le costruzioni nell'edilizia moderna risulta nocivo per l'uomo, andando ad aumentare come conseguenza, la presenza di inquinanti nell'aria (già alterata dalle condizioni esterne) degli ambienti confinati, in cui spesso, grazie alle condizioni ambientali stabili e confortevoli offerte dalla ventilazione artificiale, non viene effettuato un corretto ricambio d'aria.

Test scientifici e numerosi studi hanno dimostrato che l'aria degli ambienti interni è molto più inquinata di quella esterna, con una conseguenza che porta all'aumento dei casi di *malattie collegate alla permanenza in ambienti confinati*<sup>1</sup> di cui sempre più individui si ammalano. Il Ministero della Salute italiano,

<sup>1</sup> Esistono una serie di studi che hanno dimostrato come esista una forte correlazione tra alcune patologie (dalle più gravi come quelle tumorali, alle più leggere come allergie ed infezioni respiratorie e cutanee, influenze e cefalee) e la permanenza in ambiente indoor inquinato.

Negli anni è stata definita una vera e propria sindrome per alcune patologie, di lieve intensità, legate al tempo passato in ambienti interni. Viene nominata *Sindrome dell'edificio malato* (in inglese "Sick building syndrome" ed abbreviato "SBS") e definita dal Ministero della Salute italiano come: "quadro sintomatologico ben definito, che si manifesta in un elevato numero di occupanti edifici moderni o recentemente rinnovati, dotati di impianti di ventilazione meccanica e di condizionamento d'aria globale (senza immissione di aria fresca dall'esterno) e adibiti a uffici, scuole, ospedali, case per anziani, abitazioni civili. Le manifestazioni cliniche sono aspecifiche, insorgono dopo alcune ore di permanenza in un determinato edificio e si risolvono in genere rapidamente, nel corso di qualche ora o di qualche giorno (nel caso dei sintomi cutanei) dopo l'uscita dall'edificio... La causa è ancora sconosciuta, probabilmente multifattoriale e variabile da caso a caso. Fattori legati agli edifici, ai sistemi di condizionamento e di ventilazione, ai programmi di manutenzione, al tipo e all'organizzazione del lavoro e fattori personali svolgono certamente un ruolo rilevante."

fornisce in tal senso una sezione dedicata e dettagliata sull'argomento.

### 1.2 L'ORIENTAMENTO DEGLI ORGANI DI GOVERNO

Gli orientamenti di sviluppo politico ed economico degli organi di governo internazionali sono fortemente incentrati negli ultimi anni verso i temi della *sostenibilità*<sup>2</sup>. Il settore edilizio in particolare, considerato una chiave principale per il raggiungimento degli obiettivi energetici ed ambientali, è al centro di numerose leggi, norme tecniche, incentivi e piani di sviluppo, specifici o generali, che ne stanno modificando gli orientamenti e che sono in costante evoluzione.

Ne sono un esempio rilevante i *Sustainable Development Goals (o SDS)* conosciuti anche come *Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, sottoscritti nel 2015 dagli oltre 190 Stati membri dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) in ottica di sostituzione del precedente piano di azione e con l'obiettivo di applicare uno sviluppo sociale, economico ed ambientale sostenibile attraverso 17 target principali e 169 sottocategorie, che investono in larga scala un'ampia gamma di problematiche, tra cui quella edilizia.

Anche l'Unione Europea, sull'onda degli obiettivi fissati a livello internazionale, con la strategia *Europa 2020*, ha elaborato un modello decennale di sviluppo sostenibile, inclusivo ed intelligente, che terminerà a fine 2020 ma che è già stato integrato in una visione di prospettiva che porta all'orizzonte del 2030 e successivamente del 2050. Tra gli obiettivi fissati, quello sul cambiamento climatico ed energetico meglio conosciuto come *Obiettivo 20-20-20*<sup>3</sup>, individua prospettive interessanti

nel campo delle costruzioni.

Da ricordare, in questo senso, alcune normative e direttive della Commissione Europea (Organo esecutivo dell'Unione Europea) nel campo energetico, come la *Direttiva UE 2018/844*<sup>4</sup> che modifica ed integra le due normative precedenti in termini di politica energetica europea, la *Direttiva UE 2012/27 sull'efficienza energetica (DEE)* e la *Direttiva UE 2010/31 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD)* e nel campo ambientale come il *Green Public Procurement (GPP)*<sup>5</sup>. Quest'ultima ha lo scopo di integrare considerazioni di tipo ambientale negli acquisti dei prodotti delle Pubbliche Amministrazioni favorendo di fatto il "mercato verde" ovvero tecnologie ambientali e prodotti validi sotto il profilo ambientale.

Il recepimento a livello nazionale di queste direttive, ha portato ogni singola nazione aderente a porre particolare attenzione verso questi nuovi orientamenti. Il quadro normativo

<sup>2</sup> Con il termine *sostenibilità* viene inteso nel campo ambientale, sociale ed economico: "condizione di sviluppo in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri" (<http://www.treccani.it/enciclopedia/sostenibilita/>).

Il concetto è stato introdotto negli anni '70, anche se solo nel 1987 con il Rapporto Brundtland redatto dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) si è arrivati ad una definizione chiara degli obiettivi dello sviluppo sostenibile.

<sup>3</sup> L'Obiettivo 20-20-20 è un pacchetto di misure per clima ed energia, che fissa tre obiettivi chiave di sviluppo (in riferimento ai livelli rilevati nel 1990):

- riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra;
- aumento al 20% della quota di energie rinnovabili;
- miglioramento dell'efficienza energetica del 20%.

La politica lungimirante dell'UE ha già rivisto questi valori in ottica del decennio 2020 - 2030, portando ad almeno il 40% la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, al 32% la quota di energie rinnovabili ed al 32,5% il miglioramento dell'efficienza energetica.

<sup>4</sup> La Direttiva UE 2018/844 integra le disposizioni vigenti semplificandole in alcuni aspetti, per meglio contribuire agli obiettivi europei in tema di energia e di clima, fissati per il 2030. Tra le finalità più interessanti troviamo quella di promuovere le strategie di ristrutturazione degli immobili verso un settore sempre più decarbonizzato, rafforzando le prescrizioni in materia di strategia a lungo termine per il recupero sostenibile degli edifici esistenti.

<sup>5</sup> Con il GPP vengono adottate politiche sostenibili nel campo degli interventi della Pubblica Amministrazione. Considerato lo spessore, che essa comporta nel ruolo di consumatore, potrebbe essere un motore fondamentale di sviluppo, poiché in grado di condizionare le scelte di mercato, favorendo gli obiettivi di miglioramento ambientale.

italiano in particolare, se dal punto di vista energetico è ancora un po' indietro, in quanto non ha recepito ancora l'ultima Direttiva del 2018 e dunque attualmente sono in vigore *normative che andranno sostituite a breve*<sup>6</sup> o quantomeno rivisitate, dal punto di vista ambientale offre un quadro specifico ed aggiornato.

Con il *"Piano d'Azione Nazionale sui Green Public Procurement"* (o *"Piano d'azione per la sostenibilità dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione"* o PAN GPP) infatti l'Italia si conforma ai principi europei, definendo gli obiettivi nazionali ed identificando per diverse categorie di beni, servizi e lavori di intervento i *Criteria Ambientali Minimi (CAM)* da rispettare.

I CAM sono per definizione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare (MATTM): *"requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato"*.

Introdotti dalla *Legge 221/2015 "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali"*, sono stati successivamente resi obbligatori per tutte le stazioni appaltanti con il *Decreto legislativo 50/2016 "Codice dei contratti pubblici"* e da una seguente modifica attuata con il *Decreto legislativo 56/2017*.

La loro obbligatorietà e l'applicazione sistematica all'interno degli appalti pubblici, legati a diversi settori merceologici e di servizi, può consentire la diffusione di tecnologie e prodotti ambientalmente superiori, sostenibili e

circolari, producendo un'influenza ed una leva positiva sul mercato, stimolando gli operatori meno virtuosi all'adeguamento ai nuovi standard pubblici.

Tra le 17 categorie in cui sono stati predisposti i CAM troviamo anche l'edilizia. Approvati con il Decreto Ministeriale 11 ottobre 2017, nello specifico i CAM edilizi sono relativi ad *"Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici"* e contengono guide generali a cui devono sottostare i contratti di appalto pubblico di nuova costruzione, ristrutturazione, manutenzione, riqualificazione energetica di edifici e per la gestione dei cantieri.

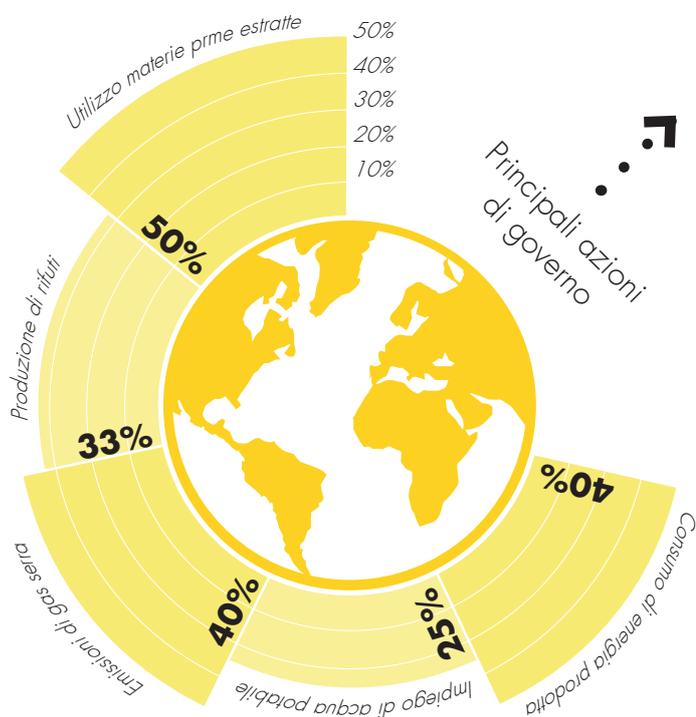
Dalla lettura del documento, si può notare un particolare indirizzo verso il miglioramento delle caratteristiche, la riduzione della tossicità e l'incentivazione al recupero e riutilizzo a fine vita, dei materiali e dei componenti utilizzati per i progetti, con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici e gli impatti ambientali delle costruzioni. Vanno in tale senso le specifiche indicate al *Capitolo 2.4 "Specifiche tecniche dei componenti edilizi"* che richiedono:

- almeno il 50% in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile;
- il contenuto di materia recuperata o riciclata nei materiali utilizzati per l'edificio, deve essere pari ad almeno il 15% in peso, valutato sul totale di tutti i materiali utilizzati.

Preso atto di questi orientamenti, il mercato

<sup>6</sup> Decreto Legislativo 102/2014 e Piano d'azione per l'Efficienza Energetica (sviluppate in risposta alla Direttiva UE 2012/27) e Decreto legislativo 63/2013 poi completato con il Decreto Interministeriale 26 giugno 2015 (in recepimento alla Direttiva UE 2010/31).

**Grafico 1** - Grafico riassuntivo relativo al problema ambientale dell'edilizia con indicazioni degli orientamenti dei governi



• **MONDO**

• Sustainable Development Goals (o SDS)  
 • "Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile"

• **EUROPA**

• Europa 2020 con *Obiettivo 20-20-20*:  
 • - *Green Public Procurement (GPP)* (campo ambientale);  
 • - *Direttiva UE 2018/844* (campo energetico);

• **ITALIA**

• Piano d'Azione Nazionale sui Green Public Procurement, definendo i *Criteri Ambientali Minimi (CAM)* (campo ambientale)

edilizio dovrà necessariamente rinnovarsi ed adeguarsi nei prossimi anni, adottando sempre più spesso e definitivamente soluzioni che ad oggi sono considerate ancora un'eccezione.

**1.3 UNA POSSIBILE SOLUZIONE: LA BIOARCHITETTURA**

Il richiamo a logiche di sostenibilità ha portato negli ultimi anni ad un ripensamento dell'edilizia, verso un modello di sviluppo che mira a nuovi principi alternativi di riduzione degli impatti ambientali, di risparmio e di riciclo delle risorse. Il fine è quello di evitare, nel presente e nel futuro, l'ulteriore peggioramento delle condizioni ambientali del nostro pianeta e di conseguenza delle condizioni di vita dell'uomo.

Tenere in considerazione logiche sostenibili nella costruzione di nuovi edifici, nella ristrutturazione e restauro di quelli preesistenti e cercare di crearne le premesse future di realizzazione, ad oggi, risulta una necessità perseguibile attraverso un'azione combinata di ripensamento del progetto edilizio nelle sue fasi di costruzione e gestione.

È qui che entra in campo la *bioarchitettura* (o *architettura biologica* o *ecoarchitettura*)<sup>7</sup>, una sempre più diffusa ed attuale cultura edilizia che privilegia la realizzazione di edifici in armonia con l'ambiente e con l'uomo, dunque sostenibili dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, in tutte le sue fasi.

<sup>7</sup> Il Corso di edilizia Bioecologica di ANAB – IBN, definisce l'Edilizia Bioecologica come "la dottrina dei rapporti globali tra uomo ed ambiente abitato".

Costruire in modo sano, con impostazione ecologica a favore dell'individuo e dell'ambiente, ponendo particolare attenzione all'approvvigionamento ed all'uso consapevole dei materiali e delle risorse, alla produzione e smaltimento dei rifiuti, alla prospettiva di risparmio energetico e all'azzeramento degli impatti negativi dell'edificio durante il suo ciclo vita, sono tra gli aspetti alla base della bioarchitettura.

Alcune linee guida orientative su come costruire ed abitare sano, sono state indicate all'interno dei "Principi generali della Bioedilizia" redatti da ANAB – IBN<sup>8</sup> ed inseriti nel "Corso di edilizia Bioecologica" (Dispensa 1) e riassumibili in:

- *progettazione consapevole*, nel rapporto tra ambiente ed edificio e tra edificio ed individuo. Per fare questo devono essere tenuti in considerazione non solo i principi di edilizia sostenibile già citati, ma anche il contesto in cui verrà costruito l'edificio o, nel caso di preesistenza, su cui è già insediato, offrendo spazi adeguati per gli abitanti dal punto di vista dell'orientamento, della disposizione e dimensione degli spazi, della luce naturale, dei colori, della ventilazione, dell'arredo, degli apporti interni ecc... È da considerarsi inoltre di buona pratica, la possibilità di proporre edifici flessibili, con facilità di intervento per eventuali sostituzioni di impianti o pacchetti tecnici, oppure che offrano predisposizione per un eventuale cambio di destinazione;
- *risparmio energetico*, ottenuto attraverso involucri edilizi (naturali) correttamente progettati e adeguatamente posati, che consentano, tra gli altri, un ottimo isolamento termico, una corretta traspirabilità e

regolazione dell'umidità interna e la riduzione di ponti termici ed acustici nell'ottica di realizzazione di *case passive ed edifici ad energia quasi zero (NZEB)*<sup>9</sup>. Qualora non si raggiungano prestazioni elevate, ci si avvale frequentemente di sistemi di produzione di energia rinnovabile (fotovoltaica, geotermica, eolica e biogas);

- *materiali di origine naturale*, ecocompatibili ed a basso impatto energetico e sociale lungo l'intero ciclo vita (dalla produzione allo smaltimento), preferibilmente derivanti da processi di riuso e riciclo ed a loro volta riciclabili in un'ottica di *green economy ed economia circolare*<sup>10</sup>. Lo scopo è che non impoveriscano ulteriormente le risorse di materie prime e quindi che siano rinnovabili in un breve lasso di tempo. Viene favorito l'uso di prodotti locali, appartenenti alla cultura di uno specifico

<sup>8</sup> ANAB: Associazione Nazionale Architettura Bioecologica.

IBN: Institut für Baubiologie + Oekologie.

<sup>9</sup> Quando si parla di edifici NZEB (Nearly Zero Energy Building o edifici ad energia quasi zero) e di case passive, ci si riferisce in entrambi i casi a soluzioni che hanno come scopo primario la riduzione del consumo energetico ed il comfort abitativo anche se con differenze.

Un edificio NZEB si basa sull'esclusivo principio di progettazione del consumo energetico quasi nullo, ottenuto attraverso una forte attenzione a ridurre al minimo la richiesta energetica dell'edificio e, laddove ce ne sia bisogno, il soddisfacimento del fabbisogno energetico (per riscaldamento, acqua calda ed elettricità) garantito dall'utilizzo di forme di energia rinnovabile.

Il concetto di casa passiva invece oltre al concetto energetico, agisce sull'ottimizzazione dell'involucro edilizio, basando soprattutto la sua progettazione su esigenze biologiche volte all'utente del sistema edilizio. Il comfort ambientale viene garantito anche senza l'utilizzo di impianti ad energia rinnovabile, creando così un microcosmo eccellente in grado di autoregolarsi ed offrire un ambiente sano e confortevole all'uomo.

<sup>10</sup> Si intendono modelli di sviluppo sostenibile, specificatamente sensibili verso il tema ambientale in ottica di riduzione del consumo energetico, dei rifiuti e delle risorse naturali.

Con green economy (o economia verde o economia ecologica) si intende un modello di sviluppo economico che tiene in considerazione oltre ai parametri e benefici legati alla produzione (aumento di PIL), anche l'impatto ambientale ovvero l'impatto di un determinato processo di trasformazione di un materiale, dalla sua estrazione al suo smaltimento. All'interno del concetto di green economy rientra l'economia circolare, termine che definisce un modello di produzione e di consumo in grado di autorigenerarsi, secondo il concetto che i residui di una trasformazione possano diventare risorsa per qualcun altro. Al contrario di come succede in un'economia tradizionale definita lineare, dove il prodotto (di scarto o a fine vita) è considerato rifiuto e dunque soggetto a smaltimento, nell'economia circolare i materiali e i prodotti già inseriti nel sistema economico, vengono riciclati e ricondizionati il più delle volte ed il più a lungo possibile.

luogo, che possano limitare il più possibile i costi (in termini economici e di inquinamento) legati al trasporto e che possano coinvolgere in modo attivo le realtà territoriali.

A seguito della descrizione delle linee guida per il progetto sostenibile, è percepibile come, concentrarsi sulle tecnologie che compongono il manufatto architettonico, analizzando ogni suo componente e materiale, risulti fondamentale. Ad essi è infatti attribuito un ruolo principale nell'aumento dell'impatto ambientale dell'edificio, prevenibile attraverso una valutazione che tenga in considerazione il loro intero ciclo vita.

### 1.4 PRODOTTI EDILIZI E STRUMENTI DI VALUTAZIONE

Poiché ogni prodotto edilizio genera impatti ambientali lungo tutto il suo ciclo vita, utilizzare metodi di valutazione che ne permettano una stima oggettiva, può consentire di effettuare ragionamenti che portino:

- *ad individuare i processi produttivi parziali più impattanti* all'interno di una determinata merce analizzata, per consentirne interventi di correzione;

- *ad una valutazione e confronto dell'impatto totale tra diversi materiali*, in ottica di individuare quello ecologicamente migliore.

Lo strumento che permette di valutare oggettivamente e sistematicamente un prodotto, un processo o un servizio dal punto di vista ambientale lungo l'intero ciclo vita, è l'Analisi del Ciclo Vita o Life Cycle Assessment (LCA). Viene effettuata attraverso software di calcolo dedicati e ben si presta alle applicazioni in ambito edilizio di valutazione sia di materiali e prodotti, sia di analisi dell'intero ciclo vita dell'edificio.

Normata a livello internazionale dalla *Norma UNI EN ISO 14040:2006 "Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento"*, in generale per realizzare una LCA, dopo aver identificato gli obiettivi ed il campo di applicazione dello studio (chiamato sistema), l'analisi viene eseguita all'interno di ogni *fase del processo*<sup>11</sup> che compone il sistema preso in considerazione, quantificandone l'utilizzo delle risorse (come energia, materie prime, acqua) e le emissioni nell'ambiente (nell'aria, nell'acqua e nel suolo). Le fasi di processo vengono stabilite in base ai confini di sistema scelti, i quali non sempre prendono in considerazione l'intero ciclo vita. Lo studio può essere effettuato infatti:

- *from cradle - to - grave* (dalla culla alla tomba), ovvero tenendo in considerazione gli impatti dell'intero ciclo vita, dall'approvvigionamento delle materie prime, alla dismissione o smaltimento ed eventuale riciclo post uso;

- *from cradle - to - gate* (dalla culla al cancello), ovvero tenendo in considerazione il ciclo vita che un prodotto ha dall'approvvigionamento delle materie prime alla produzione manifatturiera. L'analisi degli impatti si conclude con l'imballaggio e l'uscita dallo stabilimento del manufatto;

- *from gate - to - gate* (dal cancello al cancello), ovvero tenendo in considerazione esclusivamente la fase di trasformazione da materia a prodotto. L'analisi degli impatti inizia con l'entrata in stabilimento del materiale e si conclude con l'imballaggio e l'uscita del manufatto dalla manifattura.

Dopo una fase accurata di raccolta dati

<sup>11</sup> *Reperimento delle materie prime, processo produttivo, costruzione e messa in opera, uso e manutenzione, dismissione e smaltimento materiali, eventuali riusi e ricicli di materiali e prodotti.*

e di tutte le informazioni necessarie per lo svolgimento di una LCA, gli impatti ambientali del sistema vengono restituiti sotto forma di indicatori di impatto ambientale, dove tra i più significativi e più usati per l'edilizia troviamo: il Global Warming Potential (GWP) che indica il contributo del sistema all'immissione di gas serra in ambiente ed il Gross Energy Requirement (GER) o Embodied Energy (EE) che indica il fabbisogno di Energia Primaria di un processo.

Uno strumento importante che permette di indicare le informazioni oggettive e verificate, derivanti dall'analisi LCA di un prodotto o servizio e di confrontarle in maniera credibile ed efficace, è la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (Environmental Product Declaration o EPD). L'EPD è di fatto un documento di certificazione volontaria che attesta le prestazioni ambientali del prodotto o servizio a cui è allegato.



# **ISOLAMENTO TERMICO ED ACUSTICO DEGLI EDIFICI**

# **2**



**Figura 1** - Isolamento dell'involucro edilizio  
*(Fotografia di Tiziana Monterisi Architetto)*

L'obiettivo di sviluppo sostenibile nel campo dell'edilizia passa sicuramente attraverso il concetto di isolamento termico e acustico, fondamentale al fine di garantire benessere all'interno degli ambienti confinati e risparmio energetico. Come già indicato nel capitolo precedente, la ricerca sull'argomento pone particolare attenzione rispetto alla tematica della progettazione degli involucri edilizi e la conseguente scelta dei materiali da utilizzare.

### 2.1 CONCETTO DI INVOLUCRO EDILIZIO

Al fine di comprendere come una corretta ed attenta progettazione dell'involucro edilizio sia fondamentale rispetto ai temi di isolamento termoacustico e quindi anche rispetto ai temi dello sviluppo sostenibile in edilizia, è necessario capirne prima il significato per poi approfondirne le caratteristiche principali.

Con il termine involucro, viene identificato genericamente *"ciò che involge un oggetto, costituendo per esso un rivestimento, un riparo, una custodia"* (<http://www.treccani.it/vocabolario/involucro/>). Il senso di questa definizione è chiaro, viene posta infatti l'esclusiva attenzione sull'aspetto protettivo.

L'accezione che ne viene data in bioedilizia in parte si discosta dal significato generale, acquisendo un contenuto più ampio e specifico. Con involucro edilizio si identifica un insieme di *unità tecnologiche ed elementi tecnici del sistema edilizio*<sup>1</sup>, che si pongono come frontiera (o limite) tra lo spazio costruito interno e l'ambiente esterno, non con l'esclusiva finalità di barriera protettiva, riparo, o divisore ma come filtro, il quale sia in grado di regolare le loro interazioni, allo scopo di creare due ambienti indipendenti.

In un pensiero più filosofico, introdotto

dall'architetto Karl Ernest Lotz nel suo libro *"La Casa Bioecologica"*, l'involucro edilizio viene considerato a tutti gli effetti la terza pelle dell'uomo, considerando che, nella sua visione, l'epidermide prima e l'abito dopo, ne sono rispettivamente la prima e la seconda.

La metafora sulla terza pelle immaginariamente rafforza ancora di più il concetto di involucro edilizio. L'epidermide e l'abito difatti per l'organismo umano hanno a tutti gli effetti una duplice responsabilità che ci si aspetta di ritrovare nell'edificio che ci circonda: barriera protettiva e filtro regolatore.

Dato il suo posizionamento perimetrale, i diversi strati funzionali e materiali che compongono l'involucro edilizio si rapportano direttamente con le condizioni climatiche e con gli agenti che caratterizzano il contesto in cui l'edificio è inserito: le sollecitazioni termiche ed acustiche, le azioni dell'acqua e del vento.

È fondamentale quindi, che l'involucro sia in grado di apporre il massimo controllo ambientale ovvero una ottimale gestione degli scambi energetici (flussi termici ed acustici) che si creano tra interno ed esterno, con l'obiettivo di ridurre le dispersioni termiche e la penetrazione dei rumori, in ottica di diminuzione dei consumi energetici in fase di utilizzo e di miglioramento del benessere e del comfort per gli occupanti dell'edificio. Questo obiettivo, senza tralasciarne l'efficienza, va perseguito inoltre, attraverso un attento studio dei prodotti e dei materiali utilizzati, in modo

<sup>1</sup> L'edificio è considerato un sistema che può essere scomposto, in base alle funzioni, in diversi sottosistemi (definiti "unità tecnologiche") ed elementi costruttivi (definiti "elementi tecnici"). La classe di unità tecnologica relativa all'involucro edilizio viene chiamata secondo la Norma UNI 8290-1:1981 "Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia". Chiusura. L'involucro edilizio è costituito da due tipologie di chiusure con le quali entra in relazione con l'esterno: opache e trasparenti.

da minimizzare i consumi e gli impatti lungo l'intero ciclo vita dei componenti dell'involucro i quali devono sempre più rispettare i criteri di sostenibilità.

Il compito di migliorare significativamente i risultati di efficienza energetica ed acustica dell'involucro (oltre alla corretta messa in opera dell'intero sistema) va attribuito, in particolare, allo strato isolante delle chiusure opache.

Prima di approfondire il ragionamento sui materiali isolanti, è utile capire cosa si intende quando si parla di isolamento termico ed isolamento o assorbimento acustico.

### 2.2 ISOLAMENTO TERMICO

Tra i fattori di maggior rilievo e necessari al fine di determinare la qualità degli ambienti interni ed il contenimento dei consumi energetici, troviamo l'isolamento termico.

Per isolamento termico si intende la capacità di un sistema divisorio (sezione murale o parete) o di un materiale di ridurre i flussi termici che lo attraversano per *conduzione*<sup>2</sup>, quando le temperature dei due ambienti che esso separa presentano differenza di temperatura.

In particolare, il compito dell'isolamento termico è quello di limitare la dispersione verso l'esterno del calore prodotto dagli impianti di riscaldamento nelle stagioni invernali e del fresco prodotto dagli impianti di raffrescamento nelle stagioni estive.

Entrano in gioco, quando si parla di isolamento termico di un involucro, le proprietà termiche della stratigrafia e dei singoli materiali (tra cui fondamentali sono quelli isolanti) le quali descrivono il comportamento in reazione alle sollecitazioni termiche e che vengono individuate nei parametri successivamente indicati.

*Conducibilità o conduttività termica ( $\lambda$ ):* misurata

in  $W/mK$ , è una caratteristica intrinseca e specifica di ogni singolo materiale ed indica la sua relativa capacità di trasmettere calore. È quindi da considerare la proprietà fondamentale che caratterizza le prestazioni termiche di un materiale. Specificatamente individua la quantità di flusso di calore (misurato in  $W$ ) in un'unità di tempo (un'ora) che è in grado di attraversare una superficie di un metro quadrato con spessore un metro quando la differenza di temperatura tra le due facce opposte del materiale è di un grado Kelvin (o Celsius).

La capacità di isolare di un materiale è inversamente proporzionale al valore di conducibilità termica misurata. Vengono dunque considerati materiali isolanti quelli che presentano bassi *valori di conducibilità termica*<sup>3</sup>. Materiali con elevato valore di conducibilità termica sono considerati conduttori termici mentre viceversa materiali con bassi valori di conducibilità termica sono definiti isolanti termici. La conducibilità termica è influenzata dai valori di condizione di esercizio (come temperatura ed umidità) e da parametri di produzione come principalmente dalla densità del materiale, infatti materiali a bassa densità risultano più performanti in quanto, in genere, sono *porosi*<sup>4</sup>. Esistono dei valori di riferimento

<sup>2</sup> Esistono diverse modalità di trasmissione del calore (fenomeno di scambio di energia termica quando si presenta differenza di temperatura) tra due corpi a diversa temperatura:

- *Conduzione*: scambio di calore attraverso un corpo solido.  
- *Convezione*: trasmissione del calore per mezzo di corpi fluidi.  
- *Irraggiamento*: scambio termico per mezzo di radiazioni elettromagnetiche.

<sup>3</sup> Vengono considerati materiali isolanti quei materiali che hanno un valore di conducibilità termica inferiore a  $0,10 W/mK$ , anche se è un valore molto alto in quanto la buona parte di prodotti isolanti in commercio presentano valori di  $\lambda$  compresi tra  $0,030 W/mK$  e  $0,060 W/mK$ . Valori sotto a questo range comportano ottimi materiali isolanti, viceversa materiali isolanti con valori di conduttività che lo superano vengono considerati mediocri.

<sup>4</sup> La porosità è una caratteristica intrinseca di un materiale ad avere all'interno della propria struttura dei piccoli spazi vuoti chiamati pori o interstizi, i quali spesso vengono saturati da aria non in movimento (che influenza positivamente le caratteristiche termiche del materiale).

di conducibilità termica indicati nella *Norma UNI 10351:2015 "Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto"* oppure esistono, come vedremo in seguito, metodi di prova normalizzati a livello internazionale da eseguire in laboratorio per il conseguimento dei valori termici di un materiale.

*Resistenza termica (R)*: misurata in  $m^2K/W$ , indica la capacità di un materiale o di una parete di opporsi allo scambio termico che avviene tra i due ambienti che esso separa.

È direttamente collegata ai valori di conducibilità termica ( $\lambda$ ) di ogni materiale ed al suo spessore ( $s$ ) e viene calcolata secondo la *Norma UNI EN ISO 6946:2018 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo"*:

- sul singolo materiale:  $R = s / \lambda$ ;

- su di una stratigrafia con materiali eterogenei:  $R_{TOT} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$  (somma delle resistenze di ogni singolo materiale).

Per ottenere buoni risultati di resistenza termica è opportuno pertanto ricorrere a materiali con valori bassi di conduttività termica (isolanti) ed intervenire sugli *spessori delle stratigrafie*<sup>5</sup>.

*Trasmittanza termica (U)*: misurata in  $W/m^2K$ , indica invece la quantità di flusso di calore che passa attraverso un materiale o una parete. Nello specifico viene definita come la quantità di flusso di calore (misurato in  $W$ ) in un'unità di tempo (un'ora) che è in grado di attraversare la sezione di un materiale o sistema divisorio con una superficie di un metro quadrato, quando la differenza di temperatura tra i due ambienti opposti del sistema considerato è di un grado Kelvin (o Celsius). Viene determinata (secondo la *Norma UNI EN ISO 6946:2018 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e*

*trasmittanza termica - Metodi di calcolo"*) come l'inverso della resistenza termica e dunque anch'essa, è direttamente collegata ai valori di conducibilità termica ( $\lambda$ ) di ogni materiale ed al suo spessore ( $s$ ):

- sul singolo materiale:  $U = 1 / R$  oppure  $U = \lambda / s$ ;

- su di una stratigrafia con materiali eterogenei:  $U = 1 / R_{TOT}$ .

Elevati valori di trasmittanza termica implicano caratteristiche termiche scadenti perché elevata è la quantità di calore che attraversa il materiale o il sistema divisorio.

Quando si parla di corretto isolamento termico dell'involucro edilizio, è necessario che la distribuzione della coibentazione termica sia uniforme lungo tutto il suo sviluppo perimetrale. Interruzioni di continuità comportano ponti termici, ovvero punti critici che implicano, tra gli altri, dispersione non controllata di calore tra interno ed esterno e diminuzione del comfort termico del sistema edilizio.

*Inerzia termica*: concetto che indica la capacità di un materiale o componente edilizio di accumulare al suo interno calore, variando più o meno lentamente la propria temperatura, in risposta alle variazioni delle condizioni termiche giornaliere. Gli scambi di calore tra interno ed esterno di un edificio sono variabili poiché gli ambienti, sia interni che esterni, sono soggetti nell'arco della giornata a fluttuazioni continue di temperatura; l'inerzia termica di un materiale permette di opporsi a questi sbalzi termici permettendo di mantenere una temperatura dell'ambiente interno omogenea e costante. La



<sup>5</sup> L'aumento degli spessori delle pareti è stato il primo e principale metodo di isolamento termico utilizzato in passato, prima dell'avvento dei materiali isolanti ad elevata conducibilità termica.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

prestazione di inerzia termica di un materiale viene determinata secondo *Norma UNI EN ISO 13786:2018 "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo"*, ed è dipendente dall'effetto combinato di conducibilità termica ( $\lambda$ ), densità ( $\rho$ ) (vedi definizione capitolo successivo) e *calore specifico*  $c_p$ , nella relazione espressa in  $m^2 / s$  della diffusività termica:

- *diffusività termica* ( $a$ ) =  $\lambda / (\rho \times C_p)$ .

Oltre alle proprietà isolanti dei materiali dunque, l'inerzia termica (strettamente collegata al valore di diffusività termica) permette di prendere in considerazione anche parametri legati all'accumulo di calore di un certo materiale, i quali sono proporzionali, alla densità del materiale ed al calore specifico.

Ne risulta che, al contrario di quanto succede con i valori di conducibilità termica e trasmittanza termica, all'aumentare dei valori di densità e di calore specifico le capacità di assorbimento termico di un materiale aumentano.

L'inerzia termica dei componenti edilizi, favorisce inoltre le capacità di sfasamento termico ( $\varphi$ ). Per sfasamento si intende il tempo che impiega un'onda termica per penetrare attraverso un materiale dall'ambiente esterno a quello interno.

### 2.3 ISOLAMENTO ED ASSORBIMENTO ACUSTICO

Tra gli elementi che un progettista deve sempre tenere in considerazione nella progettazione degli involucri edilizi, per garantire comfort degli ambienti interni, troviamo il *suono ed il rumore*<sup>7</sup>.

Le problematiche legate all'emissione, alla ricezione ed alla propagazione dei suoni e dei rumori vengono studiati a livello fisico e

scientifico in acustica.

Al fine di ridurre o evitare gli inquinamenti sonori percepiti in un ambiente abitato interno e quindi migliorare la qualità acustica, è possibile intervenire su tre livelli distinti:

- a livello di emissione, ovvero applicare interventi sulla sorgente emissiva del suono o rumore;

- a livello di propagazione, ovvero agendo su sistemi divisorii che rispondano in modo efficace alle eccitazioni del suono o rumore;

- a livello di protezione del luogo di ricezione del suono o del rumore, ovvero operando direttamente sull'organo umano di ricezione sonora, l'orecchio.

In questa trattazione, vengono tralasciati approfondimenti del primo e del terzo punto per concentrarsi direttamente sui metodi di riduzione di propagazione del suono ottenuti tramite l'isolamento e l'assorbimento acustico dell'involucro.

Quando si parla di isolamento acustico si intende la capacità di un sistema divisorio (sezione murale o parete) o di un materiale, di ridurre e limitare la trasmissione dei suoni o dei rumori aerei ed impattivi tra esterno ed interno di un edificio oppure tra due ambienti interni confinanti. Approfondimento a parte va dedicato all'assorbimento acustico, definito

<sup>6</sup> *Calore specifico* ( $C_p$ ) espresso in  $J/kgK$ , esprime l'attitudine di un materiale ad accumulare calore. Nello specifico viene considerata come la quantità di energia ( $J$ ) che è necessario trasferire ad un valore unitario di massa ( $kg$ ) per variare la sua temperatura di  $1^\circ K$ . Essa è una caratteristica specifica ed intrinseca per ogni sostanza.

<sup>7</sup> Il suono (o effetto sonoro) è una sensazione uditiva generata dalla vibrazione di un corpo in oscillazione (sorgente del suono). Il corpo in movimento genera delle oscillazioni che comportano variazioni di pressione del mezzo in cui si propaga; quando queste vibrazioni, sotto forma di onda sonora, raggiungono l'apparato uditivo dell'uomo esse vengono trasformate in sensazione uditiva in quanto molto sensibile alle variazioni di pressione dell'aria.

Quando l'effetto sonoro è sgradevole viene definito rumore e generalmente, se persistente, viene considerato un elemento nocivo per l'uomo.

come la capacità di un sistema divisorio (sezione murale o parete) o di un materiale di assorbire un suono o un *rumore incidente*<sup>8</sup> col fine di migliorare le qualità acustiche interne degli ambienti.

Per creare un ambiente che sia acusticamente confortevole, non basta considerare quindi solamente l'isolamento acustico verso l'esterno o verso altre unità abitative, ma è fondamentale conoscere e studiare anche come il suono si propaga all'interno di ambienti circoscritti.

I requisiti acustici degli elementi dell'involucro edilizio, vengono definiti in Italia dal *DPCM 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"*. La definizione di una corretta progettazione acustica di un involucro, passa dalle proprietà acustiche dei materiali della sua stratigrafia e deve intervenire e garantire risultati in tre stadi, ognuno dei quali è definito e valutato da diversi parametri caratterizzanti.

*Fonoassorbimento*: viene definito dal *coefficiente di assorbimento acustico (a)* calcolato secondo la *Norma UNI EN ISO 354:2003 "Acustica - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante"*. Esso è un parametro adimensionale che esprime il rapporto tra l'energia sonora incidente ( $W_i$ ) sull'elemento analizzato e quella da esso assorbita ( $W_a$ ):

- coefficiente di assorbimento acustico ( $a$ ) =  $W_a / W_i$ .

La capacità di assorbire il suono di un materiale o di una parete è compresa tra i valori 0 (assorbimento nullo) e 1 (assorbimento totale) ed è direttamente proporzionale alla porosità, fibrosità, flessibilità ed allo spessore in cui viene applicato; risulta inoltre estremamente variabile in funzione della frequenza in cui viene analizzato. I materiali fonoassorbenti

assorbono in modo diverso i *suoni gravi, medi ed acuti*<sup>9</sup>, sono contraddistinti quindi da diversi coefficienti di assorbimento per ogni frequenza. Al fine di comparare i vari sistemi assorbenti in edilizia, possono essere utilizzati due parametri, mediati tra i valori di coefficiente di assorbimento acustico misurati alle frequenze di 125, 250, 500, 1000, 2000 4000 Hz (ovvero due frequenze gravi, due medie e due acute): Coefficiente di riduzione del rumore (NRC – Noise Reduction Coefficient) o coefficiente di assorbimento acustico ponderato ( $a_w$ ).

*Fonoisolamento da eccitazione acustica per via aerea*: caratterizza il comportamento di un componente in merito all'inquinamento acustico aereo ed è esplicitato dal *potere fonoisolante (R)*. Viene espresso in Decibel (dB) e definisce l'attitudine di un elemento costruttivo a isolare acusticamente un'ambiente, esprimendo il rapporto tra l'energia sonora incidente ( $W_i$ ) sull'elemento analizzato e quella da esso trasmessa ( $W_t$ ). Indica praticamente di quanti dB viene diminuito il livello sonoro che passa attraverso un materiale o una partizione e viene determinato (secondo la *Norma UNI EN ISO*

<sup>8</sup> In un ambiente confinato, una sorgente sonora determina due tipi di campi sonori tra di loro sovrapposti:

– Un campo sonoro diretto, prodotto dalla sorgente del suono, il quale viene trasmesso direttamente ad un elemento ricevente.

– un campo sonoro riverberante, prodotto dalle riflessioni che le onde sonore hanno sulle superfici che confinano gli ambienti. Una parte di onda sonora dunque prima di essere ricevuta dal ricevente incide sulle porzioni limite degli ambienti raggiungendolo in ritardo rispetto alle onde dirette.

Questo effetto detto riverberazione spesso è fastidioso e non desiderato; risulta quindi necessario controllarlo andando ad agire sulle caratteristiche delle superfici che delimitano gli spazi interni, le quali devono ridurre la riflessione del suono aumentandone l'assorbimento.

<sup>9</sup> Le onde sonore sono caratterizzate come tutte le onde da una frequenza (misurata in Hertz (Hz)) che viene definita come il numero di cicli in cui l'onda si riproduce in un secondo di tempo. L'effetto prodotto sull'orecchio da un'onda sonora ad una determinata frequenza è l'altezza del suono. In base alla frequenza (o altezza) i suoni si possono suddividere in: gravi, medi ed acuti.

L'orecchio umano percepisce suoni nel range di frequenze che vanno da 20 Hz a 20.000 Hz.

1235: 2017 "Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti"):

- potere fonoisolante (R) =  $10 \log 1/t$ .

Il potere fonoisolante è influenzato dalla composizione dell'elemento ed è direttamente proporzionale alla massa, alla densità ed allo spessore applicato; viene tendenzialmente calcolato rispetto ad una stratigrafia muraria e non nel singolo elemento. Come l'assorbimento, anche l'isolamento acustico degli elementi varia in funzione delle frequenze dei suoni, è necessario quindi un valore univoco che permetta una più semplice valutazione complessiva: l'indice del potere fonoisolante ponderato (R<sub>w</sub>).

*Fonoisolamento da eccitazione acustica per via meccanica:* viene identificato in questa categoria il comportamento isolante rispetto ai rumori che si propagano a livello strutturale in seguito ad un contatto meccanico. L'aspetto principale che deve essere preso in considerazione è quello prodotto sui solai di calpestio, che viene valutato ed identificato con *livello di pressione sonora di calpestio (ΔL)* espresso in dB.

Prima di progettare acusticamente un involucro architettonico, è necessario capire l'obiettivo dell'intervento. L'isolamento e l'assorbimento del suono e dei rumori prevedono l'utilizzo di materiali e stratigrafie differenti. Spesso al fine di garantire una prestazione acustica ottimale, viene ricercato un compromesso tra isolamento e correzione acustica.

### 2.4 I MATERIALI ISOLANTI

Come già anticipato, al fine di garantire prestazioni termiche ed acustiche elevate dell'involucro si necessita dell'utilizzo, all'interno delle stratigrafie delle chiusure opache, dei

materiali isolanti. Vengono definiti materiali isolanti, quei materiali che grazie alle proprie caratteristiche intrinseche permettono di apporre notevole controllo e resistenza al passaggio del calore e del suono.

#### 2.4.1 Classificazione dei materiali isolanti

Esistono varie alternative per classificare i materiali isolanti presenti sul mercato edilizio. In base agli aspetti ed alle caratteristiche che si vogliono mettere in evidenza, si possono distinguere generalmente le seguenti classificazioni:

- *in base all'origine*, in relazione all'origine della materia prima con cui è fatto il materiale isolante, si possono distinguere materiali isolanti animali, vegetali, minerali, sintetici e misti. I primi tre sono di origine naturale (ovvero la materia prima viene prelevata ed utilizzata direttamente come da natura), mentre i materiali sintetici sono polimeri ottenuti tramite un complesso processo di lavorazione del petrolio. Quando si parla di origine mista si fa riferimento ad un materiale isolante che comprende al suo interno componenti provenienti dalle diverse categorie;
- *in base alla struttura*, in relazione alla struttura, che incide significativamente sulle prestazioni di un materiale coibente, si possono riconoscere materiali isolanti fibrosi o cellulari.

Sommariamente si può affermare che i materiali fibrosi sono composti da un reticolo di fibre, mentre i materiali cellulari hanno una composizione ad alveoli o granuli. In entrambi fondamentale è la presenza d'aria, la quale viene trattenuta in maniera differente;

- *in base alla composizione*, in relazione alla quantità di elementi con cui viene realizzato il materiale isolante. La composizione può

essere monomaterica (materiale omogeneo) o composita (materiale eterogeneo). I materiali compositi possono essere suddivisi a loro volta in materiali compositi a matrice e materiali compositi stratificati. Un materiale composito a matrice è un materiale che presenta una matrice unita ad un rinforzo (o carica), invece un materiale composito stratificato è realizzato tramite l'unione di più strati o lamine di materiale di diversa natura;

*- in base alla tipologia*, in relazione alla tipologia di forma in cui sono presenti sul mercato. In particolare troviamo materiali sciolti (sfusi), feltri o materassini e pannelli rigidi. In linea di massima, i materiali sciolti o sfusi si presentano sotto forma di granuli, fibre o fiocchi per utilizzi di riempimento di intercapedini ed interstizi; i feltri o materassini vengono prodotti sotto forma di rotoli, facilmente tagliabili e modellabili per varie esigenze di intervento; i pannelli rigidi sono forniti con dimensioni prestabilite, poco utilizzati per interventi di riempimento, ma spesso accoppiati ad una stratigrafia esistente oppure in interventi di nuova costruzione. Permettono anche modalità di accoppiamento ad incastro e serraggio.

### 2.4.2 Proprietà dei materiali isolanti

La scelta del corretto materiale isolante da usare è un aspetto molto delicato nel processo di progettazione architettonica. Il mercato edilizio offre un numero elevato di coibenti, ognuno con le proprie caratteristiche ed ognuno in grado di soddisfare, in condizione d'uso, contemporaneamente determinati requisiti.

Le qualità più rilevanti di un materiale isolante sono sicuramente quelle termiche ed acustiche, anche se, la valutazione dei coibenti, deve prendere in considerazione altre tipologie

di aspetti. Partendo dal presupposto che generalmente un materiale debba essere scelto secondo i criteri di sostenibilità e di maggior durabilità e che non esiste in assoluto un materiale isolante migliore, ma che la scelta va fatta in base ai requisiti che vengono richiesti nel progetto, è importante conoscere quali sono le proprietà principali che essi possono avere. In seguito vengono elencate le proprietà tecniche generali che caratterizzano un materiale isolante, tralasciando le proprietà termiche (conducibilità termica, resistenza termica, trasmittanza termica, inerzia termica) ed acustiche (fonoassorbimento e fonoisolamento), già abbondantemente affrontate nel paragrafo precedente.

### Densità

La densità è una grandezza fisica espressa in massa di materia contenuta in uno specifico volume ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), viene spesso indicata anche come *massa volumica* ( $\rho$ ). Sostanzialmente utilizzando componenti a bassa densità si ottengono manufatti più leggeri rispetto all'utilizzo di componenti più densi, ma sono da considerare anche le modalità di realizzazione. La massa volumica ha rilevante influenza, come vedremo, rispetto a molte caratteristiche del materiale isolante; per esempio una bassa densità dei manufatti comporta il miglioramento delle prestazioni termoisolanti (di conducibilità termica) e di fonoassorbimento, mentre sono preferibili prodotti a densità elevata per le prestazioni fonoisolanti e di inerzia termica. La norma di riferimento per la determinazione della densità è la *Norma UNI EN 1602:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione della massa volumica apparente"*.

### Stabilità dimensionale

Quando si parla di *stabilità dimensionale* di un materiale isolante, ci si riferisce alla propensione del materiale a conservare inalterate le proprie caratteristiche funzionali e dimensionali durante il periodo di esercizio, in funzione del tempo, della temperatura, dell'acqua, dell'umidità ed in generale delle varie condizioni ambientali a cui è esposto. Tutti i materiali, in determinate condizioni di esposizione, in base alla loro composizione ed alla modalità di messa in opera, tendono a variare le proprie dimensioni, ma in maniera temporanea e reversibile.

Spesso però, può accadere che vengano a mancare i requisiti di stabilità dimensionale a seguito di esposizioni prolungate ad agenti sfavorevoli ed il materiale, subisce danni irreversibili che influenzano l'efficacia della funzionalità dell'elemento.

È fondamentale per esempio che un coibente offra le medesime prestazioni per cui è stato scelto, lungo tutta la sua vita utile nell'edificio, mantenendo anche la propria stabilità dimensionale che viene stabilita secondo la *Norma UNI EN 1604:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura"*.

Una delle proprietà più significative in questo senso nel mondo dell'edilizia è la dilatazione termica, ovvero la variazione dimensionale che un materiale subisce in riferimento ad una variazione di temperatura, definita dal *coefficiente di dilatazione termica ( $\alpha$ )* e normata dalla *Norma UNI EN 13471:2004 "Isolanti termici per gli impianti degli edifici e le installazioni industriali - Determinazione del coefficiente di dilatazione termica"*.

### Proprietà meccaniche

Ai materiali isolanti vengono spesso richieste garanzie rispetto alle prestazioni di resistenza meccanica nelle condizioni di esercizio.

Entrano in gioco quindi le proprietà meccaniche dei coibenti, ovvero le caratteristiche ed i comportamenti che essi presentano in risposta alle sollecitazioni (forze applicate di compressione, trazione, flessione e taglio) che agiscono sul materiale, durante la sua vita, all'interno dell'involucro edilizio. Queste sono dipendenti dai componenti, dalla geometria e dai metodi realizzativi del materiale isolante considerato; in generale si può affermare che la resistenza meccanica cresca all'aumentare della densità del materiale.

Tutte le resistenze meccaniche vengono misurate in chilopascal (kPa) mediante prove normate differenti, realizzate in base alla posizione che avrà il coibente in opera.

*Resistenza a compressione:* viene valutata generalmente per le applicazioni in cui l'isolante viene utilizzato in orizzontamenti (copertura o solai), mediante diverse prove che valutano tipologie diverse di carico.

Per carichi di breve periodo e quindi non permanenti, si valuta la resistenza a compressione al 10% di deformazione (o schiacciamento) secondo la *Norma UNI EN 826:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione del comportamento a compressione"*. Viene fornito il valore di sollecitazione alla quale il pannello si deforma con schiacciamento del 10%, oppure la resistenza a compressione massima raggiunta qualora la deformazione a snervamento o rottura è minore del 10%.

Per carichi permanenti si valuta invece il comportamento del materiale isolante a compressione con l'applicazione del 2%

di deformazione (o schiacciamento) tramite *Norma UNI EN 1606:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione dello scorrimento viscoso a compressione"*. Questa prova permette di capire il comportamento a compressione del materiale isolante fino a 50 anni di vita e di valutare il livello di carico che il manufatto può sopportare nel periodo di vita mantenendo le sue caratteristiche fisico-meccaniche e dimensionali invariate rispetto al campione iniziale.

Quando si prendono in considerazione carichi concentrati e puntuali si fa riferimento alle indicazioni della *Norma UNI EN 12430:2013 "Isolanti termici per edilizia - azione del comportamento sotto carico concentrato"*. La prova permette di determinare se i prodotti hanno una resistenza sufficiente per sopportare forze applicate puntualmente ad essi.

*Resistenza a trazione*: è importante conoscere questo comportamento quando, in fase di esercizio, si hanno sollecitazioni perpendicolari rispetto al piano della lastra isolante. Viene valutata con un dinamometro in base alla *Norma UNI EN 1607:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione della resistenza a trazione perpendicolare alle facce"*, fornendo il valore di resistenza a trazione massimo di un prodotto prima che giunga a rottura.

*Resistenza a flessione*: significativa quando il materiale isolante viene posto a supporto di altri strati della parete. Viene stabilita attraverso una prova che prevede la sollecitazione di un puntone sul punto mediano del pannello fissato su due appoggi laterali, e regolamentata dalla *Norma UNI EN 12089:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione del comportamento a flessione"*. L'obiettivo è quello di capire se il

prodotto resiste correttamente a sollecitazioni di flessione durante il trasporto e l'applicazione.

*Resistenza al taglio*: stabilita in conformità alla *Norma UNI EN 12090:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione del comportamento a taglio"*, indica la capacità di un materiale di resistere alla deformazione quando sottoposto a forza di taglio. Si fornisce il valore di resistenza al taglio, ovvero la potenza che serve per dividere in pezzi il materiale isolante.

### Proprietà igroscopiche

I componenti dell'involucro si rapportano costantemente lungo il proprio esercizio con *l'aria umida (o vapore acqueo)*<sup>10</sup>. Analizzare le proprietà igroscopiche dei materiali che compongono le pareti, ovvero i comportamenti che essi hanno rispetto alla diffusione (o traspirabilità) ed all'assorbimento del vapore d'acqua, risulta fondamentale. Esse possono influire negativamente sulle prestazioni termiche, di durata e di resistenza meccanica creando effetti contrastanti rispetto ai risultati attesi.

Le principali questioni che vengono valutate e prese in considerazione relativamente al comportamento che un materiale ha rispetto all'umidità dell'aria, sono l'assorbimento (igroscopicità) e la traspirabilità (permeabilità al vapore) che sono generalmente correlate alla porosità dei materiali analizzati e sono specificate come segue.

*Igroscopicità*: si intende l'attitudine di un

.....

<sup>10</sup> L'aria che ci circonda, sia in ambienti confinati sia esterna, contiene sempre vapore d'acqua derivante da fenomeni di evaporazione ovvero dal passaggio, tramite fenomeno fisico, dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso. La quantità di vapore che l'aria può contenere non è infinita, ma ha un limite in base alla temperatura dell'aria che si chiama di "saturazione". Più la temperatura è elevata più la quantità di umidità che può contenere l'aria prima di arrivare a saturazione è elevata.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

materiale ad assorbire o cedere umidità dall'ambiente circostante. È una caratteristica, dipendente dalla porosità (i materiali igroscopici sono porosi) e dalla composizione, che risulta utile quando si desidera mantenere regolato il livello di umidità presente all'interno di un ambiente chiuso e circoscritto, rendendolo meno soggetto e sensibile a fluttuazioni del tasso di umidità.

Un materiale isolante con caratteristiche igroscopiche può risultare però problematico, perchè l'assorbimento di particelle di acqua allo stato gassoso può comportare una perdita nel tempo, in termini di prestazioni. Nella norma, è dunque una caratteristica non desiderata per i coibenti.

*Permeabilità al vapore:* è la proprietà che caratterizza la traspirabilità di un materiale e definisce la capacità di un materiale di farsi attraversare dal vapore acqueo. I componenti delle pareti sono soggetti alla diffusione del vapore a causa della sua naturale migrazione tra ambienti posti a pressioni di vapore differenti (da ambienti a pressione di vapore e temperatura maggiori verso ambienti con pressione di vapore e temperatura minori). La permeabilità viene misurata in kg/msPa attraverso il *coefficiente di conducibilità del vapore o permeabilità ( $\delta$ )*, che nello specifico misura la quantità di vapore (in kg) che attraversa in un'unità di tempo (s) un'unità di superficie ( $m^2$ ) di un materiale con spessore di un metro (m) quando c'è differenza unitaria di pressione di vapore (Pa) tra le parti. Solitamente tuttavia, il parametro che si prende in considerazione per esprimere la capacità di diffusione del vapore di un materiale è quello della resistenza alla diffusione del vapore (Z) ovvero la capacità di un prodotto o una stratigrafia di opporsi al passaggio del vapore.

La resistenza alla diffusione del vapore è definita attraverso il *coefficiente di resistenza al passaggio del vapore ( $\mu$ )*, fattore adimensionale intrinseco di ogni materiale (dipendente dalla densità e dalla conformazione del materiale), determinato secondo la *Norma UNI EN 12086:2013 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo"*. Esso indica quante volte è maggiore la resistenza alla diffusione del vapore di un prodotto, rispetto ad un volume di aria di uguale spessore che ha coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore pari a uno ( $\mu = 1$ ). Ciò significa che un materiale con  $\mu = 10$  avrà una resistenza alla diffusione del vapore dieci volte superiore all'aria ed implica che all'aumento del valore del coefficiente di resistenza, aumenta la *capacità impermeabilizzante del materiale*<sup>11</sup>.

Anche la permeabilità al vapore è fortemente influenzata dalla natura e dalla porosità del materiale.

Una verifica importante, che va fatta quando si parla di permeabilità al vapore, partendo dai valori termici ed igrometrici delle componenti edilizie, è quella relativa ai fenomeni di *condensazione superficiale ed interstiziale*<sup>12</sup>.

### Comportamento all'acqua

Oltre a valutare le prestazioni dei materiali isolanti in relazione all'umidità, è necessario capirne il comportamento anche in funzione della presenza d'acqua. Quando si parla di comportamento

<sup>11</sup> I materiali in base al valore di resistenza alla diffusione del vapore ( $\mu$ ) possono essere classificati in: traspiranti (con  $\mu < 50$ ), freni al vapore ( $50 < \mu < 500$ ), barriera al vapore ( $\mu > 500$ ).

<sup>12</sup> La condensazione è un fenomeno fisico inverso all'evaporazione, cioè il passaggio dallo stato gassoso allo stato liquido dell'acqua. La condensazione avviene quando, per determinate ragioni, il contenuto di vapore acqueo nell'aria supera i valori limite di saturazione per quella temperatura. La condensa può formarsi nelle pareti sia a livello superficiale che interstiziale.

all'acqua viene esaminata la capacità di assorbimento d'acqua del coibente, tenendo in considerazione che la presenza di acqua, come per l'umidità, può favorire il degrado ed alterare negativamente le caratteristiche morfologiche, meccaniche, termiche, chimiche e biologiche dei materiali isolanti. Generalmente perciò, si cerca di eliminare qualsiasi tipo di assorbimento idrico, il quale viene favorito da prodotti che presentano fibrosità e/o porosità. Si considerano i seguenti tre parametri.

*Assorbimento d'acqua a lungo termine per immersione:* da valutare rispetto alle condizioni di esposizione all'acqua per un lungo periodo da parte del prodotto isolante. È valutato attraverso una prova di 28 giorni, regolata dalla *Norma UNI EN ISO 16535:2019 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione dell'assorbimento d'acqua a lungo termine per immersione"* la quale prevede due metodi di analisi, o per immersione parziale o per immersione totale. Rispettivamente in base al metodo si ottengono risultati espressi in kg/m<sup>2</sup> o valore percentuale (%).

*Assorbimento d'acqua per immersione parziale su breve periodo:* è la simulazione di un periodo di pioggia che colpisce il coibente durante la sua posa in opera o stoccaggio in cantiere. È una prova di 24 ore con risultato espresso in kg/m<sup>2</sup> o valore percentuale (%) normata dalla *Norma UNI EN ISO 29767:2019 "Isolanti termici per edilizia - Determinazione dell'assorbimento d'acqua per immersione parziale su breve periodo"*.

*Assorbimento d'acqua per diffusione per lungo periodo:* esaminato per isolanti posti su orizzontamenti con condizioni particolari. La norma di riferimento in questo caso è la *Norma UNI EN ISO 16536:2019 "Isolanti termici*

*per edilizia - Determinazione dell'assorbimento d'acqua per diffusione su lungo periodo"* la quale prevede un periodo di 28 giorni di esposizione del materiale ad elevate umidità relative, per stabilire l'assorbimento espresso in kg/m<sup>2</sup> o valore percentuale (%).

### Comportamento al fuoco

Tutti i materiali edili e quindi anche i materiali isolanti devono essere valutati, ai fini della prevenzione degli incendi, in relazione al proprio comportamento al fuoco, fenomeno complesso valutabile attraverso la *reazione al fuoco*, ovvero il grado di partecipazione di un coibente alla fiamma a cui è sottoposto.

I materiali vengono classificati, in base ai risultati delle prove uniformate di reazione al fuoco, secondo la *Norma UNI EN 13501-1:2019 "Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco"*, attraverso sette classi (*Euroclassi: A1, A2, B, C, D, E, F*)<sup>13</sup>. Oltre alla reazione al fuoco, vengono attribuite delle codificazioni supplementari che riguardano la produzione dei fumi (indicate con la lettera s: smoke) ed il rilascio di particelle o gocce infiammabili (indicate con la lettera d: drops). Il comportamento al fuoco dei materiali isolanti è molto variabile, ed è dipendente dalla natura dei componenti del materiale isolante, dalle sostanze aggiunte nel processo produttivo, dalla tipologia del processo produttivo, dalla metodologia di applicazione e dalla modalità

<sup>13</sup> A1: prodotto non combustibile; A2: prodotto che non contribuisce significativamente alla crescita dell'incendio; B: prodotto debolmente combustibile; C: prodotto combustibile; D: prodotto molto combustibile; E: prodotto molto infiammabile, propagatore di fiamma; F: prodotto non classificato.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

di posa in opera. È valutabile tramite prove armonizzate, tra cui la principale è il test Single Burning Item (SBI) definito dalla *Norma UNI EN 13823:2014 "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"*.

Tra gli altri metodi di valutazione si cita anche quello previsto dalla *Norma UNI EN ISO 11925-2:2010 "Prove di reazione al fuoco - Accendibilità dei prodotti sottoposti all'attacco diretto della fiamma - Parte 2: Prova con l'impiego di una singola fiamma"*.

## Comportamento agli agenti chimici e biologici

Quando si parla di proprietà chimiche e biologiche dei materiali isolanti, si indica la capacità di non reagire rispetto ad agenti aggressivi che possono entrare in contatto e danneggiare il prodotto durante le fasi di messa in opera e di esercizio, siano essi solventi, detersivi, sostanze chimiche, muffe, batteri, insetti, roditori ecc... Come per molte caratteristiche, anche in questo caso, gli elementi che più influenzano il comportamento del materiale analizzato sono la natura della sua composizione, i trattamenti subiti, il metodo

<b>Grafico 1</b> - Informativa riassuntiva generale per caratterizzare i materiali isolanti	Riferimenti normativi	Parametri caratterizzanti
Proprietà termiche	<i>Norma UNI EN 12667:2002 Norma UNI EN ISO 6946:2018 Norma UNI EN ISO 6946:2018 Norma UNI EN ISO 13786:2018</i>	<i>Conducibilità termica (<math>\lambda</math>) Resistenza termica (R) Trasmittanza termica (U) Diffusività termica (a)</i>
Proprietà acustiche	<i>Norma UNI EN ISO 354:2003 Norma UNI EN ISO 1235: 2017 Norma UNI EN ISO 1235: 2017</i>	<i>Coefficiente di assorbimento acustico (a) Potere fonoisolante (R) Livello di pressione sonora di calpestio (DL)</i>
Densità	<i>Norma UNI EN 1602:2013</i>	<i>Massa volumica (<math>\rho</math>)</i>
Stabilità dimensionale	<i>Norma UNI EN 1604:2013 Norma UNI EN 13471:2004</i>	<i>Stabilità dimensionale Coefficiente di dilatazione termica (<math>\alpha</math>)</i>
Proprietà meccaniche	<i>Norma UNI EN 826:2013 Norma UNI EN 1606:2013 Norma UNI EN 12430:2013 Norma UNI EN 1607:2013 Norma UNI EN 12089:2013 Norma UNI EN 12090:2013</i>	<i>Resistenza a compressione  Resistenza a trazione Resistenza a flessione Resistenza al taglio</i>
Proprietà igroscopiche	<i>Norma UNI EN 12086:2013</i>	<i>Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore (<math>\mu</math>)</i>
Comportamento all'acqua	<i>Norma UNI EN ISO 16535:2019 Norma UNI EN ISO 29767:2019 Norma UNI EN ISO 16536:2019</i>	<i>Assorbimento d'acqua</i>
Comportamento al fuoco	<i>Norma UNI EN 13823:2014 Norma UNI EN ISO 11925-2:2010</i>	<i>Reazione al fuoco</i>

di realizzazione del materiale, le tecniche e le modalità di posa in opera.

Non sono state riscontrate prove normalizzate specifiche per queste categorie da realizzare direttamente sui coibenti, ci si affida dunque a prove specifiche sui materiali che lo compongono e ad alcuni studi di settore realizzati.

### 2.4.3 Tecniche di isolamento

Negli interventi di isolamento termico ed acustico degli involucri, oltre all'importanza della scelta dei giusti materiali isolanti, è necessario tenere in considerazione ed affrontare gli aspetti legati alla loro messa in opera.

Le prestazioni termiche ed acustiche di un sistema divisorio, variano in base alla corretta messa in opera dei materiali coibenti ed alla scelta progettuale relativa al loro posizionamento rispetto al pacchetto edilizio di cui fanno parte.

Le considerazioni e le soluzioni prese in analisi in questo paragrafo, sono meno interessanti per gli aspetti acustici, mentre risultano prioritarie quando si parla di prestazioni termico-energetiche.

In base al posizionamento che il coibente assume rispetto al sistema di chiusura opaca esterna, vengono identificate tre macrocategorie di tecniche di isolamento:

- *isolamento interno (cappotto interno)*: identifica interventi in cui il materiale isolante viene posizionato sulla faccia interna delle pareti perimetrali esterne. È una tecnica che viene utilizzata poco in interventi di nuova costruzione, ma prevalentemente, per interventi di riqualificazione su edifici esistenti, quando non è possibile applicare l'isolante all'esterno della facciata. È una scelta di isolamento meno efficace di altre, perché comporta l'interruzione della continuità dell'isolante, favorendo la creazione di ponti termici e l'aumento del

rischio di condensa interstiziale.

Può essere una soluzione vantaggiosa in ambienti che non necessitano di riscaldamento costante ma saltuario, in quanto il calore erogato dai sistemi riscaldanti non viene assorbito dalle partizioni isolate, con una risposta più immediata all'innalzamento della temperatura interna (di conseguenza si ha bassa inerzia termica delle pareti);

- *isolamento esterno (cappotto esterno)*: identifica interventi in cui il materiale isolante viene posizionato sulla faccia esterna delle pareti perimetrali esterne. È una tecnologia molto valida sia per nuova edificazione che per ristrutturazioni ed è la più indicata per evitare o risolvere la formazione dei ponti termici. Lo strato isolante passa in continuità e senza interruzioni lungo tutto il perimetro di facciata ponendosi all'estradosso della muratura, delle teste di solaio e delle strutture.

Questa soluzione permette di utilizzare l'inerzia termica dei materiali della muratura, garantendo comfort termico ed un ottimo controllo microclimatico interno;

- *isolamento in intercapedine*: identifica interventi in cui viene utilizzato un sistema di muratura a doppia parete, ovvero due strati distinti di muratura intervallati da un'intercapedine vuota (aria), piena (con strato isolante) o semipiena (aria e strato isolante). Generalmente la soluzione più adottata è quella mista, la quale implica un buon comportamento sia termico che acustico della stratigrafia ed evita la formazione di condensa interstiziale.

È una tecnica molto utilizzata e discretamente funzionale, che permette l'utilizzo di materiali isolanti senza prestazioni meccaniche ma solo termiche, ovvero coibenti morbidi, sciolti o iniettabili che riempiono la totalità

dell'intercapedine. Particolare attenzione, con questa tipologia, va posta in fase di progettazione nella risoluzione del ponte termico in corrispondenza delle strutture portanti.

### 2.4.4 Analisi del profilo ambientale degli isolanti

Viene successivamente proposta una riflessione di massima e non esaustiva, degli impatti sull'ambiente e sulla salute, che le varie tipologie di isolanti, suddivisi in base all'origine, possono avere; lo scopo è duplice: individuare quali sono i fattori di rischio più significativi che le varie tipologie di coibenti hanno durante l'intero ciclo di vita, capendo per comparazione quale classe risulta avere un profilo ambientale migliore ed individuare delle linee guida da prendere in considerazione per ottenere materiali isolanti ecosostenibili.

La ricerca sarà basata su dati qualitativi, sulla base di ricerche, opinioni e punti di vista, poiché studiare un profilo ambientale preciso di un materiale edile, come visto nel capitolo precedente, comporta lo studio di un bilancio ecologico normato, basato su dati certi, precisi e non facilmente reperibili. Tutto ciò esula dallo scopo di questa trattazione.

La valutazione dell'eco-efficienza di un materiale isolante viene analizzata suddividendola nelle seguenti fasi: materie prime, processo produttivo, fase d'uso (lavorazione, messa in opera, esercizio e manutenzione) e dismissione (riuso, riciclo o smaltimento).

Prima dell'analisi nel dettaglio, è utile considerare che quasi tutti i materiali isolanti possiedono almeno una caratteristica di sostenibilità, ma il soddisfacimento di un singolo requisito ambientale non da licenza a considerare quel materiale etico ed ecologico. D'altra parte si può affermare

come nessun coibente possa essere considerato completamente sostenibile.

L'obiettivo da perseguire deve essere quello di avere un prodotto che sia in grado di ridurre al massimo i consumi e l'inquinamento dell'ambiente, in tutto il suo ciclo vita.

#### Materie prime

Le materie prime, ovvero le risorse naturali utilizzate per la realizzazione dei materiali isolanti, genericamente possono essere suddivise in rinnovabili e non rinnovabili. Come è deducibile, le risorse non rinnovabili sono quelle che provocano impatti maggiori, dato che una volta sfruttate non si rigenerano, incrementando oltre al rischio del loro esaurimento anche un progressivo degrado del territorio di estrazione. La riduzione dell'utilizzo di queste risorse a favore di quelle rinnovabili, è sicuramente la strada da percorrere, anche se a questa nozione possono e devono essere abbinati ulteriori accuratezze. Infatti, il bilancio ecologico di un prodotto viene drasticamente ridotto se per la sua realizzazione vengono utilizzati materiali e prodotti riciclati. Le materie prime devono essere inoltre di facile reperimento, ad elevata disponibilità e soprattutto di produzione locale, al fine di limitare al massimo i costi di trasporto agli stabilimenti produttivi e di valorizzare le risorse materiali che ci offre un determinato territorio.

#### Processo produttivo

Per la valutazione ambientale del processo produttivo di un materiale isolante vanno presi in considerazione due aspetti: il consumo di energia che richiede il processo e la quantità e tipologia di sostanze inquinanti che vengono rilasciate.

Il dispendio energetico che si richiede in determinate produzioni è molto elevato, poiché molti coibenti,

durante la trasformazione, necessitano di processi termici che vengono alimentati da materie prime non rinnovabili.

L'inquinamento atmosferico ed ambientale legato ai processi produttivi di alcuni materiali, è un problema ormai riconosciuto da anni dalla comunità internazionale. Aumento del buco di ozono, effetto serra, acidificazione delle piogge e smog sono solo tra le principali cause degli inquinanti emessi dai cicli produttivi poco sostenibili.

Da non trascurare è la pericolosità del trattamento e della trasformazione delle materie prime rispetto agli addetti ai lavori. Questa tematica è molto attuale e sempre più presa in considerazione quando si introducono nuovi materiali. L'esposizione a sostanze tossiche che vengono sprigionate durante la lavorazione della materia prima, ha comportato negli anni ad introdurre robuste normative e sistemi di sicurezza che tutelino la salute degli operatori.

### Fase d'uso

La fase d'uso di un materiale isolante, raggruppa in se fasi ben distinte che possono essere inserite all'interno dello stesso gruppo di studio. In questo punto gli impatti di un prodotto isolante, vengono valutati attraverso le operazioni di messa in opera (che comprendono anche la lavorazione) e di esercizio (che comprendono anche la manutenzione), in relazione alle conseguenze ed i rischi che possono causare sull'ambiente, sui lavoratori, ma anche sugli utenti dell'edificio.

La nocività di un coibente legata, alla lavorazione propedeutica alla messa in opera del materiale, è causata dallo sprigionarsi di sostanze malsane nell'ambiente, liberate a seguito del suo maneggiamento o taglio. Per quanto

riguarda la messa in opera vera e propria, il problema maggiore è causato da molti isolanti che richiedono operazioni particolari mediante l'utilizzo di prodotti (come i collanti), ambientalmente ed individualmente pericolosi. La pericolosità degli isolanti in fase di esercizio, ovvero durante la permanenza del materiale nell'edificio, è provocata invece dalle sostanze tossiche accumulate, che alcuni materiali emettono principalmente all'interno degli ambienti confinati, durante la loro permanenza nelle stratigrafie degli involucri. Ne risulta che queste emissioni nocive, siano una problematica che colpisce principalmente gli abitanti o utenti degli edifici.

### Dismissione

La dismissione di un materiale isolante può avvenire, a fine vita, secondo tre modalità distinte: riuso, riciclo o smaltimento.

Le possibilità di *riuso o riciclo*<sup>14</sup> del materiale a fine vita, garantiscono entrambe, in maniera diversa, il reinserimento nel ciclo produttivo di risorse, con annessa influenza positiva rispetto al suo bilancio ambientale. È importante notare che tuttavia alcuni processi di riciclaggio, comportano impatti più o meno elevati a livello di consumo di energia e di rilascio degli inquinanti.

Quando si lavora con materiali che non sono, per qualsiasi motivo, riusabili o riciclabili si necessita delle operazioni di smaltimento, il quale comporta l'uscita dal ciclo produttivo della risorsa. L'impatto del processo dipende

<sup>14</sup> Quando si parla di riuso e riciclo di un materiale isolante bisogna distinguere il significato. Parliamo di riuso quando il coibente viene reimpiegato senza processi di lavorazione per un utilizzo uguale o simile. Il riciclo invece prevede che il materiale venga reinserito all'interno di nuovi processi produttivi, diventando nuova materia prima, a seguito di determinati trattamenti.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

<b>Grafico 2</b> - Analisi impatti materie prime	Natura	Impatto	Degrado territoriale	Altre informazioni
Isolante sintetico	<i>NR</i>	<i>Elevato</i>	<i>Elevato</i>	<i>Derivano da estrazione e lavorazione del petrolio</i>
Isolante minerale	<i>NR</i>	<i>Medio</i>	<i>Elevato</i>	<i>Derivano da materiali come sabbie, argille e minerali estratti in cave</i>
Isolante vegetale	<i>R</i>	<i>Basso</i>	<i>Medio</i>	<i>Derivano da legno, cellulosa, fibre vegetali (spesso materiali di scarto o riciclati)</i>
Isolante animale	<i>R</i>	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>	<i>Derivano da lana di pecora di basso pregio, locale o estera</i>

\*NR = Non rinnovabile - R = Rinnovabile

<b>Grafico 3</b> - Analisi impatti processo produttivo	Consumo Energetico	Inquinamento	Pericolosità addetti lavori
Isolante sintetico	<i>Medio</i>	<i>Elevato</i>	<i>Elevato</i>
Isolante minerale	<i>Elevato</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
Isolante vegetale	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>
Isolante animale	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>

<b>Grafico 4</b> - Analisi impatti in fase d'uso	Messa in opera	Esercizio	Altre informazioni
Isolante sintetico	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Attenzione particolare va posta con le schiume in fase di posa in opera. Sostanze dannose vengono rilasciate in caso di incendi</i>
Isolante minerale	<i>Elevato</i>	<i>Medio</i>	<i>Attenzione alla creazione di polveri dannose inalabili in fase di posa in opera. Possibile rilascio di sostanze tossiche in esercizio</i>
Isolante vegetale	<i>Medio</i>	<i>Basso</i>	<i>Non si evidenziano aspetti particolari, se non la possibile creazione di polveri inalabili in fase di posa in opera</i>
Isolante animale	<i>Basso</i>	<i>Basso</i>	<i>Non si evidenziano aspetti particolari</i>

**Grafico 5** - Analisi impatti da dismissione

	Riuso o riciclo e relativo impatto		Smaltimento e relativo impatto	
Isolante sintetico	<i>Si</i>	<i>Medio</i>	<i>NB</i>	<i>Medio</i>
Isolante minerale	<i>Si</i>	<i>Elevato</i>	<i>NB</i>	<i>Medio</i>
Isolante vegetale	<i>Si</i>	<i>Medio</i>	<i>B</i>	<i>Basso</i>
Isolante animale	<i>Si</i>	<i>Basso</i>	<i>B</i>	<i>Basso</i>

\*NB = Non biodegradabile - B = Biodegradabile

dalla metodologia di smaltimento applicata e dalla tipologia di materiale da smaltire, che può essere biodegradabile o non. I *materiali biodegradabili*<sup>15</sup> hanno un impatto molto basso in quanto, attraverso processi naturali, vengono degradati diventando una risorsa per il terreno, mentre gli isolanti non biodegradabili necessitano di un processo di dismissione specifico (spesso in inceneritore), molto problematico a livello di inquinamento ambientale.

#### 2.4.5 Il mercato degli isolanti naturali

A seguito dell'analisi realizzata si può affermare come i materiali isolanti che possono essere considerati eco – efficienti sono sommariamente ed esclusivamente quelli vegetali, quelli animali e parte di quelli minerali. Successivamente verranno proposte dunque, attraverso la metodologia delle schede tecniche, le informazioni generali relative alle principali tipologie di coibenti sostenibili presenti sul mercato. Alla ricerca è stato applicato però un filtro; sono stati selezionati infatti esclusivamente

materiali isolanti di consistenza simile a quelli oggetto di ricerca, che sono quindi commercializzati sotto forma di pannello rigido o semirigido, tralasciando i materiali cosiddetti sfusi o materassini flessibili. Le schede tecniche in linea di massima, conterranno tutte al loro interno, una descrizione generale dell'isolante, le caratteristiche tecniche ed i nomi delle principali aziende produttrici.

Vengono tralasciati i materiali isolanti in lana, analizzati nello specifico nei capitoli successivi.

<sup>15</sup> Un materiale viene definito biodegradabile quando in natura è presente almeno un microrganismo o batterio in grado di decomporlo naturalmente.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

### Fibra di legno

I pannelli in fibra di legno, sono isolanti vegetali ottenuti mediante trasformazione di legname vergine o di scarto.

La produzione è molto varia, infatti oltre alla possibilità di trovare sul mercato pannelli rigidi o semirigidi, sono prodotti da numerose case produttrici, in diverse grandezze, densità e spessori.

Tramite trattamenti meccanici, la materia lignea viene sminuzzata e sfibrata, per poi essere successivamente miscelata attraverso processi che possono essere a secco (con collanti) o a umido (con acqua ed additivi) ed infine pressata e fatta essiccare allo scopo di realizzare il pannello desiderato. Gli isolanti in fibra di legno sono buoni isolanti termici ed acustici e buoni regolatori di umidità. Hanno un elevato calore specifico che gli permette di avere buone prestazioni di inerzia termica. Si prestano al riutilizzo e sono compostabili.

Origine	-	<i>Vegetale</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>120/300</i>
Conduktività termica	<i>W/mk</i>	<i>0,038/0,052</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>2,1</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>3/10</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe E</i>
Coefficiente assorbimento acustico	-	-
Resistenza a compressione	<i>kPa</i>	<i>50/100</i>
Assorbimento acqua a breve durata	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<i>&lt;1</i>

### Principali aziende produttrici

3therm, Bauexpert, Celenit, La casa di terra, Leo Bodner, Naturalia BAU, Steico.

### Fibra di legno mineralizzata

I pannelli in fibra di legno mineralizzata, sono isolanti compositi ottenuti mediante mineralizzazione, con magnesite o cemento, delle fibre di legno ricavate da legname vergine o di scarto. Il metodo produttivo e il tipo di legante minerale utilizzato comportano prodotti di diverse varianti.

Il legno viene sminuzzato e sfibrato con processi meccanici e successivamente viene mineralizzato. Le fibre vengono inumidite e miscelate con il legante minerale, per poi essere collocate in stampi per essere pressate e fatte essiccare, in modo tale da formare un pannello dalle caratteristiche desiderate. Questo tipo di isolanti, oltre alle prestazioni termiche ed acustiche, garantiscono traspirabilità, igroscopicità e buone prestazioni di inerzia termica. Il trattamento di mineralizzazione li rende molto resistenti al fuoco e di durabilità pressochè illimitata, impedendone così la biodegradabilità. Se non riutilizzati, si necessita al fine dello smaltimento il conferimento in discarica.

Origine	-	<i>Composita</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>300/625</i>
Conduktività termica	<i>W/mk</i>	<i>0,075/0,10</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>1,81</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>4/10</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe B</i>
Coefficiente assorbimento acustico	<i>125/4000 Hz</i>	<i>fino a 0,88</i>
Resistenza a compressione	<i>kPa</i>	<i>150/200</i>
Resistenza agenti biologici	-	<i>Inattaccabile</i>

### Principali aziende produttrici

Bonelli, Celenit, Eraclit.

## Fibra di cellulosa

I pannelli in fibra di cellulosa, sono coibenti ricavati da macinazione e sfibratura di carta riciclata (generalmente di giornali).

La carta viene sminuzzata in fiocchi, mescolata in diverse percentuali con fibre leganti e di sostegno (spesso sintetiche come il poliestere) e successivamente trattata con sali di boro, per aumentarne la resistenza al fuoco ed ai parassiti. Il processo prevede la pressatura a caldo della materia prima, al fine di ottenere pannelli isolanti rigidi che presentano diverse densità, dimensioni e composizione. Questa tipologia di pannelli, si distinguono oltre che per la loro capacità termica ed acustica, anche per l'ottima permeabilità al vapore.

Teoricamente le fibre di cellulosa sono riciclabili e compostabili, il trattamento con sali di boro e la mescolanza con fibre sintetiche però, rendono problematiche queste operazioni e dunque, se non riutilizzati, questi isolanti vengono smaltiti.

Origine	-	<i>Vegetale</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>60/90</i>
Conduktività termica	<i>W/mk</i>	<i>0,040</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>1,9/2</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>1/3</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe E</i>
Coefficiente assorbimento acustico	-	-
Resistenza agenti biologici	-	<i>Inattaccabile</i>
Assorbimento acqua a breve durata	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<i>&lt;1</i>

### Principali aziende produttrici

Bauexpert, Euchora, K.E.F.I, La casa di terra, Leo Bodner, Steico

## Sughero

I pannelli in sughero, sono materiali isolanti ottenuti dalla lavorazione di sughero vergine (proveniente dalla corteccia della quercia da sughero) o sughero riciclato.

La prima operazione prevista nel processo di creazione dei pannelli è la macinazione in granuli del materiale, i quali vengono agglomerati mediante collanti sintetici o naturali e stabilizzati grazie a processi termici e di pressione.

I coibenti in sughero, oltre alle proprietà termoacustiche, garantiscono buone prestazioni di accumulo termico, ottime risposte in termini di elasticità e di sollecitazioni meccaniche, buone caratteristiche di permeabilità al vapore e discreta resistenza al fuoco.

Il sughero si presta ad azioni di riutilizzo ed è completamente riciclabile e compostabile. Se invece risulta la presenza di collanti sintetici, se non riutilizzati, necessitano di operazioni di smaltimento.

Origine	-	<i>Vegetale</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>100/300</i>
Conduktività termica	<i>W/mk</i>	<i>0,036/0,050</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>1,5/2</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>5/20</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe B/E</i>
Coefficiente assorbimento acustico	<i>500/4000 Hz</i>	<i>0,20/0,85</i>
Resistenza a compressione	<i>kPa</i>	<i>100/200</i>
Assorbimento acqua a breve durata	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<i>&lt;0,5</i>

### Principali aziende produttrici

Celenit, Edilsughero, La casa di terra, Lis, Sugherificio Lombardo, Tecnosugheri.

## 2. Isolamento termico ed acustico degli edifici

### Fibra di kenaf

I pannelli in fibra di kenaf, sono prodotti isolanti ricavati tramite lavorazione della pianta di kenaf, della famiglia delle malvacee (come il cotone).

L'inizio della filiera produttiva prevede che le piante vengano lasciate essiccare direttamente in campo e successivamente tagliate e lavorate. Il materiale viene sfibrato e ridotto in fiocchi per poi essere additivato con prodotti naturali ignifughi ed una percentuale minima di materia prima (naturale o sintetica) che dia rinforzo e sostegno al pannello, al momento della sua formazione col trattamento di termofissaggio. I pannelli ottenuti con questo processo sono di diversa densità e spessore; presentano ottime proprietà termoacustiche, sono trapiranti ed igroscopici. I pannelli totalmente in kenaf sono riutilizzabili, biodegradabili e riciclabili. Se c'è presenza di fibra sintetica occorre lo smaltimento in discarica.

Origine	-	<i>Vegetale</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>20/100</i>
Conducibilità termica	<i>W/mk</i>	<i>0,039/0,046</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>1,7</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>1/2</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe F</i>
Coefficiente assorbimento acustico	<i>125/4000 Hz</i>	<i>0,04/0,9</i>
Resistenza a compressione	<i>kPa</i>	<i>3/5</i>
Assorbimento acqua a breve durata	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<i>&lt;0,5</i>

### Principali aziende produttrici

Euchora, K.E.F.I, La casa di terra, Manifattura Maiano, Tecnosugheri.

### Fibra di canapa

I pannelli in fibra di canapa sono materiali isolanti ottenuti dalla lavorazione della pianta di canapa appartenente alla famiglia delle cannabacee. Il processo produttivo permette di ottenere pannelli di diverse dimensioni, densità e spessore ed inizia con il taglio e l'essiccazione della pianta. Successivamente viene fatta macerare per ottenere le fibre che andranno a comporre il coibente.

Le fibre di canapa sono trattate con sali di boro per migliorarne le proprietà ignifughe e necessitano di essere mescolate con piccole percentuali di materiali di sostegno (sintetici o naturali) che diano struttura al pannello a seguito del trattamento termico. Sono materiali dalle buone proprietà termiche, acustiche, di traspirabilità ed igroscopiche.

Il compostaggio è possibile solo per pannelli 100% naturali, come il riciclo ed il riutilizzo. Se si prevede una percentuale sintetica, l'isolante deve essere smaltito in discarica.

Origine	-	<i>Vegetale</i>
Massa volumica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>30/190</i>
Conducibilità termica	<i>W/mk</i>	<i>0,039/0,043</i>
Calore specifico	<i>KJ/Kgk</i>	<i>1,7</i>
Resistenza diffusione del vapore	-	<i>1/2</i>
Reazione al fuoco	-	<i>Classe E</i>
Coefficiente assorbimento acustico	-	-
Resistenza a compressione	<i>kPa</i>	<i>&gt;17</i>
Resistenza agenti biologici	-	<i>Inattaccabile</i>

### Principali aziende produttrici

Celenit, Ennat, Geosana, Manifattura Maiano, Naturalia BAU.

### **Altre tipologie**

Esistono una serie di pannelli isolanti naturali che hanno una diffusione ed un mercato più ristretto rispetto a quelli indicati in precedenza, ma che risultano lo stesso interessanti e meritevoli di una rapida citazione.

Pannelli rigidi o semirigidi con buone caratteristiche prestazionali vengono ottenuti, tra gli altri, in canna palustre, in fibra di lino, in fibra di mais, in fibra di cocco, in fibra di juta, fibra di lana ecc... Sono tutti materiali che, attraverso determinate lavorazioni preliminari di macerazione, fermentazione, essiccazione, o tosatura (per la lana) vengono preparati ad essere trasformati in pannelli, attraverso processi di feltratura, agugliatura e soprattutto termici. Questi ultimi utilizzano l'aiuto di un legante o collante (sintetico o naturale) in grado di reagire e dare struttura al coibente.

Dal punto di vista del trattamento a fine vita, come si è potuto capire dai pannelli analizzati in precedenza, in linea di massima sono tutte tipologie di coibenti che si possono riutilizzare, ma che risultano riciclabili e compostabili esclusivamente se prodotto al 100% da materie prime naturali. Se risulta presenza di materiale sintetico, il pannello necessita di operazioni di apposito smaltimento.

La problematica delle materie prime precedentemente citate è che, molto spesso, non vengono coltivate nei luoghi di trasformazione; esse per essere trasformate in prodotto finito, vengono importate in Europa a seguito di lunghe tratte, andando ad incidere in modo negativo sul bilancio ambientale del pannello isolante.

### **Principali aziende produttrici**

Casasana, Ennat, Geosana, La casa di terra, O.R.V. Manufacturing, Naturalia BAU, Tecnosugheri.



# **NORMATIVA SUI RESIDUI DI PRODUZIONE**

# **3**



**Figura 1** - Residui di produzione  
*(Fotografia di Alex Fu da Pexels)*

La finalità del seguente capitolo è quella di analizzare l'orientamento normativo generale che definisce la classificazione, la gestione ed il trattamento dei residui o scarti di produzione, per comprendere al meglio gli approfondimenti nei successivi capitoli dedicati alle materie prime utilizzate per la realizzazione dei pannelli rigidi isolanti oggetto di tesi.

La disciplina relativa ai residui di produzione in Italia, viene discussa e contenuta all'interno della materia pertinente alla gestione dei rifiuti.

#### **3.1 LA GESTIONE DEI RIFIUTI**

Nei processi di trasformazione delle materie prime che portano alla realizzazione dei prodotti finiti di filiera, si ottengono residui di produzione (chiamati anche scarti) che il quadro normativo vigente distingue in quelli considerabili rifiuti da quelli, che per determinati motivi, sono sottoprodotti.

Da questo punto di vista, la guida normativa nazionale relativa alla gestione dei rifiuti, è costituita essenzialmente dal *Decreto legislativo 152/2006 "Norme in materia ambientale"* conosciuto anche come Testo Unico Ambientale. Le direttive di alcuni articoli di questo decreto sono state modificate dal successivo *Decreto Legislativo 205/2010 "Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive"* in seguito al necessario recepimento degli orientamenti comunitari esposti con la *Direttiva CE 2008/98* del Parlamento europeo.

L'ultimo atto correttivo citato, applicato dal governo italiano, in materia di gestione dei rifiuti, è contenuto nel *Decreto 264/2016 "Regolamento recante criteri indicativi per*

*agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti"* che di fatto non innova le precedenti direttive ma semplicemente le implementa ponendosi come strumento che definisce alcune regole chiarificatrici a favore dei soggetti detentori dei residui di produzione, che permettono di qualificare i residui produttivi come sottoprodotti e non come rifiuti.

Il percorso normativo di riferimento introdotto contiene al suo interno i concetti di prodotto, residuo, rifiuto, sottoprodotto e materia prima seconda, precedentemente citati e che ora verranno analizzati nello specifico per capirne le differenze ed i significati.

La definizione di *prodotto* viene indicata all'interno dell'art.2 del Decreto 264/2016 come *"ogni materiale o sostanza che è ottenuto deliberatamente nell'ambito di un processo di produzione o risultato di una scelta tecnica"*. Il significato che viene fornito è chiaro ed implica la volontarietà, da parte del produttore, di ottenere da una materia prima lavorata attraverso un processo produttivo specifico, proprio quel determinato materiale. È proprio sul concetto di volontarietà che distinguiamo il prodotto dal residuo.

Viene indicato come *residuo di produzione* (o semplicemente residuo oppure scarto) nell'art. 2 del Decreto 264/2016, *"ogni materiale o sostanza che non è deliberatamente prodotto in un processo di produzione e che può essere o non essere un rifiuto"*. È dunque un residuo, un materiale che viene ottenuto involontariamente dalla trasformazione, tramite processo produttivo, di una materia prima, e che, in base ad alcuni criteri forniti in seguito, può essere considerato rifiuto o sottoprodotto.

### 3. La normativa sui residui di produzione

Si definisce *rifiuto*, ai sensi dell'art 183 del Testo Unico Ambientale *"qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi"*; l'atto (volontario o obbligatorio) del disfarsi comporta che il residuo venga assegnato direttamente al mondo dei rifiuti. I rifiuti non sono tutti uguali, ma sono classificati, ai sensi dell'art 184 del medesimo decreto, secondo l'origine in *rifiuti urbani e rifiuti speciali*<sup>1</sup> e secondo la pericolosità in rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi.

Il rifiuto generalmente viene consegnato dal produttore (con costi rilevanti a suo carico) ad appositi enti o imprese specializzate, le quali lo prendono in gestione per poi destinarlo allo smaltimento piuttosto che al recupero. Prima di questo passaggio il rifiuto necessita una catalogazione attraverso un codice CER (Codice Europeo del Rifiuto)<sup>2</sup>, ovvero un codice identificativo contenuto all'interno di un Elenco europeo dei rifiuti (List of wastes), istituito a livello europeo dalla *Direttiva 75/442/CEE* ed implementato dalla successiva *Decisione 2000/532/CE* del Parlamento europeo, che conta 842 tipologie di rifiuti suddivisi in 20 macrocategorie.

Qualora sia previsto lo smaltimento, esso viene effettuato dal soggetto incaricato secondo operazioni determinate, indicate in un elenco non esaustivo riportato nell'*Allegato B "Operazioni di smaltimento"*<sup>3</sup> del Testo Unico Ambientale.

Esiste tuttavia la possibilità che un rifiuto cessi di essere tale, diventando una materia prima seconda da riutilizzare nel ciclo produttivo.

Si parla di *cessazione della qualifica di rifiuto (end of waste)* quando secondo l'art. 184-ter del Decreto legislativo 152/2006, *"un rifiuto è stato sottoposto a un'operazione di recupero,*

*incluso il riciclaggio"* nel rispetto delle seguenti e determinate condizioni:

- *"la sostanza o l'oggetto sono destinati a essere utilizzati per scopi specifici;*
- *esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;*
- *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'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana"*.

Attraverso opportuni trattamenti, il rifiuto torna ad essere considerato una risorsa da utilizzare in definiti processi produttivi per la realizzazione di nuovi manufatti. Si conferisce al materiale in questo caso il nome di *materia prima seconda (MPS)* ovvero una nuova materia prima che deriva da recupero o riciclaggio dei rifiuti. Alcune operazioni di recupero vengono indicate nell'*Allegato C "Operazioni di recupero"*<sup>4</sup> del Testo Unico Ambientale.

Infine, a questo punto, si può introdurre il concetto di *sottoprodotto*. Un residuo viene definito sottoprodotto e non rifiuto ai sensi dell'art.

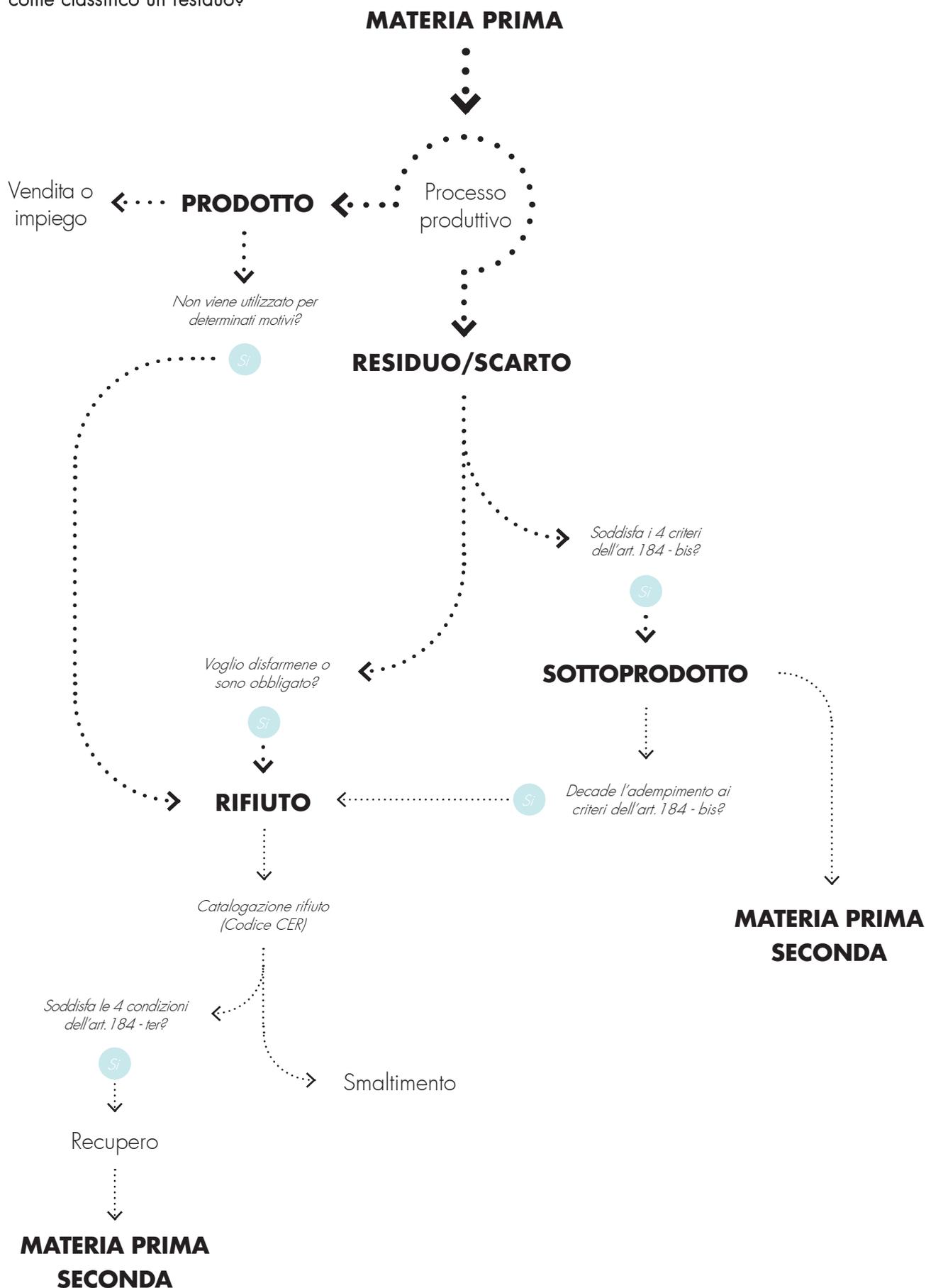
<sup>1</sup> Vengono catalogati come rifiuti urbani principalmente i rifiuti provenienti da civile abitazione, i rifiuti di qualsiasi genere giacenti su aree pubbliche, i rifiuti vegetali e quelli cimiteriali, mentre come rifiuti speciali in generale i rifiuti da attività agricole e agro-industriali, i rifiuti derivanti dalle attività edili, i rifiuti delle attività industriali, sanitarie, artigianali e commerciali.

<sup>2</sup> La classificazione di un rifiuto è effettuata direttamente dal produttore assegnando ad esso il competente Codice CER che si compone di 6 cifre raggruppate in 3 coppie di numeri. La prima coppia indica il capitolo identificativo mentre la restante parte del gruppo ne segnala il tipo di lavorazione da cui deriva (a titolo esemplificativo viene indicato la prima classe della lista rifiuti: 010101 rifiuti da estrazione di minerali metalliferi).

<sup>3</sup> Sono indicate tra le altre operazioni: deposito temporaneo o permanente (ad esempio discarica), trattamento in ambiente terrestre (ad esempio biodegradazione), iniezioni in profondità, trattamenti biologici, trattamenti fisico-chimici ed incenerimento.

<sup>4</sup> Sono indicate tra le altre operazioni: utilizzazione come combustibile o come mezzo per produrre energia, rigenerazione o recupero o riciclaggio di svariate sostanze organiche inorganiche, trattamenti in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura e dell'ecologia.

**Grafico 1** - Da dove arriva e come classifico un residuo?



184-bis del Decreto legislativo 152/2006, il quale recita *“è un sottoprodotto e non un rifiuto qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:*

- *la sostanza o l’oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;*
- *è certo che la sostanza o l’oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;*
- *la sostanza o l’oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;*
- *l’ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l’oggetto soddisfa, per l’utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell’ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull’ambiente o la salute umana.”*

La qualifica del residuo come sottoprodotto dipende esclusivamente dal rispetto di tutti e quattro punti precedenti indicati e comporta che esso possa essere trattato a tutti gli effetti come un bene primario per nuovi processi produttivi (anche qui abbiamo a tutti gli effetti una materia prima seconda) e non come un rifiuto da eliminare. La decadenza, da parte del residuo in analisi, anche di un solo requisito indicato presuppone invece che la sua gestione venga assoggettata ai criteri indicati in materia di rifiuti.

Vi sono ancora molti vincoli interpretativi da parte degli operatori industriali per la caratterizzazione dei loro residui come sottoprodotti, anche se negli ultimi anni alcuni aggiornamenti di legge hanno assicurato una valutazione più uniforme per la dimostrazione

del rispetto delle condizioni imposte.

#### **3.1.1 I vantaggi del sottoprodotto**

Caratterizzare un residuo come sottoprodotto significa andare in contro a numerosi vantaggi rispetto al mondo dei rifiuti. È un giovamento totale che non investe solamente e strettamente a livello economico, giuridico e di tempo l’imprenditore o l’azienda che li produce ma anche dal punto di vista ambientale, etico e culturale l’intera comunità.

La sfera dei rifiuti, come si è già potuto capire in precedenza, è tenuta a seguire precisi e scrupolosi protocolli, che vanno dall’ iter burocratico della catalogazione, della compilazione *modulistica*<sup>5</sup> e dello stoccaggio dei rifiuti da parte del produttore, passando alle autorizzazioni specifiche sui trasporti, fino ad arrivare alle documentazioni che permettono la tracciabilità del flusso del rifiuto fino agli impianti finali, i quali grazie a specifici permessi, provvedono al loro trattamento (di qualsiasi tipologia o forma, sia esso la distruzione o il recupero).

Un residuo classificato come sottoprodotto è a tutti gli effetti invece una nuova risorsa; un nuovo bene primario che non entra a far parte della tematica della gestione dei rifiuti di un’azienda. Le agevolazioni dei sottoprodotti sono tante e con enormi potenzialità, a partire dal fatto che non necessitano lo stoccaggio in appositi contenitori, non prevedono l’assegnazione del codice identificativo europeo (CER) e la compilazione degli appositi moduli propri dei rifiuti che comportano perdite di tempo e di denaro. Inoltre, bisogna considerare che i

<sup>5</sup> Tra cui il MUD con cui si indica il “Modello unico di dichiarazione ambientale” ovvero un insieme di dichiarazioni e permessi da presentare annualmente alla Camera di commercio da parte dei produttori, dei trasportatori e delle aziende che trattano rifiuti.

costi di trasporto vengono abbattuti grazie alla possibilità degli spostamenti tramite mezzi ordinari senza autorizzazioni specifiche.

Il vero grande guadagno, riscontrabile sotto tutti i punti di vista, lo si ha però nella fase finale, perchè il sottoprodotto per sua natura prevede il reinserimento in nuove attività produttive, ottimizzando il residuo ed eliminando i costi, i danni ambientali e sociali relativi allo smaltimento.

Dal punto di vista economico, al notevole risparmio collegato all'annullamento dei costi di distruzione (quantificati in base alla tipologia di del singolo rifiuto da smaltire) vanno sommati i profitti legati alla vendita del sottoprodotto alle aziende che lo utilizzeranno, infatti esso viene pagato dal destinatario (di un prezzo quantificato anche qui in base al genere di sottoprodotto commercializzato) generando un surplus economico.

Incentivare sempre di più il passaggio verso un sistema virtuoso di riutilizzo dei sottoprodotti in ottica di economia circolare, riduce gli impatti aumentando la responsabilità ambientale e sociale, con l'obiettivo da persistere che deve essere quello di arrivare a non avere più rifiuti. Il coraggio delle aziende nell'investire sui sottoprodotti comporterebbe comprovati e

garantiti vantaggi per tutti, poiché lo scarto di una realtà può realmente diventare una materia prima utilizzabile per nuovi processi.

Nei paragrafi seguenti vengono analizzate nelle loro generalità le categorie di residui di cui fanno parte le materie prime utilizzate per la realizzazione dei pannelli isolanti sperimentali *AGROTESs*.

### 3.2 INTRODUZIONE AI RESIDUI AGROALIMENTARI

Tra le tipologie da esaminare troviamo i residui agroalimentari, ovvero *gli scarti ottenuti dalle attività delle industrie agroalimentari* che vengono identificate come un insieme di tutte le imprese che si dedicano alla coltivazione, produzione e trasformazione dei prodotti delle attività primarie quali l'agricoltura, l'allevamento (o zootecnia), la silvicoltura e la pesca, con lo scopo di realizzare prodotti finiti destinati all'alimentazione.

La definizione che viene fornita lascia dedurre come il comparto agroalimentare sia un ramo economico forte ma complesso, che include al suo interno un'ampia gamma di attività, occupando una notevole fetta di mercato ed una posizione di rilievo rispetto all'economia mondiale.

Gli attori che fanno parte della filiera agroalimentare sono in ordine di ciclo produttivo:

- le *aziende agricole* (in cui si intendono quelle dedicate all'agricoltura, all'allevamento, alla silvicoltura ed alla pesca con codice *Ateco*<sup>6</sup>

#### Grafico 2 - Rifiuto o sottoprodotto? Le differenze.

**R** ➤

- *Catalogazione con codice rifiuto CER;*
- *Apposito luogo di stoccaggio;*
- *Autorizzazioni specifiche di trasporto;*
- *Trattamento permesso ad enti dotati di specifici permessi;*
- *Alti costi di gestione, trasporto e distruzione.*

**S** ➤

- *Non si richiede catalogazione e luogo di stoccaggio apposito;*
- *Trasporto permesso con mezzi ordinari;*
- *Trattamento diretto dell'azienda o di terzi;*
- *Bassi costi di gestione e trasporto;*
- *Vantaggi economici, ambientali e sociali.*

<sup>6</sup> Il codice *Ateco* è una combinazione alfanumerica che permette di identificare una attività economica. Viene indicato con una lettera iniziale che individua il macro-settore economico ed una sequenza di numeri che rappresentano le sue articolazioni e sottocategorie con diversi gradi di dettaglio.

01, 02 e 03) produttrici di materie prime, le quali in Italia secondo gli ultimi dati ISTAT (aggiornati al 2015) sono circa 1.575.000, con una produttività annua che genera tra gli altri, sempre secondo l'ultimo aggiornamento ISTAT (aggiornato al 2019) 53.000.000 di tonnellate di prodotti vegetali raccolti derivati da coltivazione, 15.800.000 tonnellate di materie prime lattiero-casearie e circa 3.550.000 tonnellate di materie prime da macelleria. Volutamente sono stati tralasciati i dati relativi alla silvicoltura e alla pesca, poco rilevanti ed interessanti ai fini della trattazione; in seguito infatti non verranno più presi in considerazione; - le *industrie alimentari*, che si occupano di trasformare le materie prime agricole mediante processi produttivi in prodotti alimentari come cibo e bevande. Con circa 55.550 unità (secondo gli ultimi dati ISTAT aggiornati al 2017) l'attività alimentare occupa circa il 15% del settore manifatturiero nazionale ed è seconda per numero di imprese e per rilevanza solamente all'industria metallurgica.

L'elevata mole produttiva evidenziata del settore agroalimentare, origina un'altrettanta quantità di residui (o scarti) rinnovabili, che necessitano di essere smaltiti o recuperati qualora classificati come rifiuti oppure dove possibile, possono diventare una nuova risorsa se qualificati come sottoprodotti.

Come per gli attori del settore, esistono due macrocategorie di scarto che si possono ottenere in questo tipo di filiera:

- *residui derivanti dalla coltivazione delle materie prime o dall'allevamento* e quindi strettamente legati alla filiera agricola;
- *residui derivanti dalle operazioni di trasformazione e lavorazione delle materie prime* e quindi strettamente legati alla filiera

alimentare.

Viene posta in seguito solo una panoramica sui residui agricoli da coltivazione o da allevamento, tralasciando l'altra categoria di scarto, poiché le materie prime oggetto di tesi si attestano esclusivamente al suo interno.

#### **3.2.1 Residui agricoli da coltivazione o da allevamento**

Seppur siano entrambi scarti agricoli, i residui strettamente connessi e provenienti dalla coltivazione dei vegetali (erbacei o arborei) si differenziano in maniera netta rispetto ai residui ottenuti dall'attività zootecnica. Nel primo caso parliamo esclusivamente di residui agricoli vegetali, mentre viceversa nel secondo si parla di residui agricoli di origine animale.

Trovare dati precisi per quanto riguarda questa categoria di residui è impresa ardua, poiché esistono molte variabili di difficile stima, tra cui la grande quantità di tipologie di colture ed allevamenti che producono residui, le tante metodologie di trattamento a cui possono andare incontro e le fluttuazioni statistiche che variano a cadenza praticamente mensile.

Secondo alcuni dati (disomogenei e difficilmente confrontabili), ricavati da ricerche generali e di settore, si possono quantificare gli scarti agricoli da coltivazione in un numero pari al 30/35% del peso di produzione e dunque approssimativamente, tenendo conto dei dati indicati al paragrafo precedente, si può dichiarare che nel 2019 i residui agricoli vegetali siano stati quantificati tra i 16.000.000 e le 18.550.000 tonnellate

Tra i più comuni si trovano paglia, steli, foglie, stocchi, tutoli e legname (sarmenti, rami potati, ramoscelli, frasche), generalmente lasciati essiccare per poi, in base alla tipologia di

coltura ed alle caratteristiche dei residui, essere:

- *riutilizzati per le normali pratiche agricole*<sup>7</sup>, interrati o lasciati in campo sfruttando le proprietà organiche di qualche residuo per aumentare il valore nutritivo del terreno, influenzando in termine di fertilità le colture successive, oppure come sottofondi di lettiere o stalle;
- *smaltiti* o attraverso la bruciatura in campo, pratica molto diffusa in passato, ancora attuata ma ormai al limite della legalità e molto dannosa per l'uomo e l'ambiente, oppure come rifiuti speciali non pericolosi tramite assegnazione del codice CER alla classe "0201 Rifiuti prodotti da agricoltura, orticoltura, acquacoltura, selvicoltura, caccia e pesca";
- *riutilizzati come sottoprodotti* per esempio nell'industria zootecnica per l'alimentazione degli animali oppure utilizzati come *biomasse*<sup>8</sup> in appositi impianti per la produzione di energia; una soluzione per generare energia da fonti rinnovabili di scarto. Sono presenti studi, ricerche e realtà avviate che pensano ad un riuso innovativo dei sottoprodotti di questo mercato; nuovi modi di pensare che rappresentano un'opportunità industriale rispetto alle tradizionali pratiche prettamente agricole elencate.

Se per i residui agricoli vegetali si può individuare una certa omogeneità nelle caratteristiche, per quanto riguarda i residui di origine animale da allevamento invece i residui sono molto eterogenei e vengono identificati principalmente in: carcasse di animali che muoiono o vengono abbattuti per cause diverse da macellazione, liquami (o *stallatico*<sup>9</sup>) e materiali da tosa (ad esempio la lana). Non vengono considerati in questa sezione residui da macellazione di animali per produzione di carne ad uso umano e residui dell'industria lattiero-casearia in quanto frutto di un processo

di trasformazione e quindi ricadenti all'interno dei residui della filiera alimentare.

Anche in questo caso, la quantificazione nazionale totale di questa tipologia di scarto non è semplice e, data la mancanza di dati ufficiali, ci si affida a ricerche generali che indicano circa 300.000 tonnellate di residui di tosa e da carcasse e 150.000.000 di tonnellate di liquami (o stallatico).

Per questi scarti vengono previste le seguenti destinazioni:

- *riutilizzati per le normali pratiche agricole* (esclusivamente nel caso dello stallatico) come fertilizzanti senza trattamenti, direttamente sui terreni agricoli coltivati;
- *smaltiti* illegalmente attraverso bruciatura o interrimento (caso esclusivo per prodotti di tosa e carcasse) oppure legalmente attraverso la disciplina della *Direttiva europea 1069/2009/CE "norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e che abroga il regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale)"*<sup>10</sup>;

<sup>7</sup> L'art. 185 del Decreto legislativo 152/2006 esclude dalla trattazione della disciplina sui rifiuti una serie di materiali agricoli o forestali naturali al fine dell'utilizzo in agricoltura, selvicoltura o per le produzioni energetiche purché non vengano utilizzati processi o metodi che danneggiano l'ambiente o la salute umana.

<sup>8</sup> Con il termine biomassa viene indicato un insieme di materiali organici vegetali o animali, che generalmente vengono scartati e che, attraverso processi naturali di biodegradazione della materia, permettono la produzione di varie forme di energia.

<sup>9</sup> Lo stallatico o letame, viene definito come prodotto delle deiezioni degli animali da allevamento misto a materiale agricolo vegetale di scarto, usato come sottofondo per lettiera (per esempio la paglia). Si parla di liquame qualora le deiezioni non siano mischiate a materiali solidi ma ad acqua di lavaggio del sottofondo della stalla.

<sup>10</sup> La normativa in particolare offre un quadro degli obblighi generali da osservare da parte degli operatori del settore, per quanto riguarda la raccolta, il trasporto, la manipolazione, il trattamento, la trasformazione, la lavorazione, il magazzinaggio, l'immissione sul mercato, la distribuzione, l'uso o lo smaltimento dei residui di origine animale (SOA), suddividendoli in tre categorie specifiche che riflettono il loro livello di rischio per la salute pubblica.

L'art. 185 del Decreto legislativo 152/2006 esclude dalla trattazione della disciplina sui rifiuti i sottoprodotti di origine animale contemplati nella Direttiva europea 1069/2009/CE, evitando inutili conflitti normativi.

- riutilizzati come sottoprodotti come biomasse per la produzione di varie forme di energia o (nel caso dei materiali derivanti da tosa) a seguito di specifici trattamenti in altre filiere industriali.

### 3.3 INTRODUZIONE AI RESIDUI TESSILI

In seguito viene fornita un'analisi sui residui tessili, i quali vengono intesi come *gli scarti ottenuti dall'attività dell'industria tessile* che si identifica come l'insieme delle operazioni che si occupano della lavorazione e trasformazione delle materie prime (*fibres tessili*<sup>11</sup>) per la realizzazione di prodotti tessili (filati, tessuti o altro). L'industria tessile è inserita all'interno delle attività manifatturiere e racchiude tutte le imprese operanti all'interno del codice Ateco 13, da cui vengono escluse le attività volte alla realizzazione di articoli di abbigliamento, di pelli e di pellicceria, le quali fanno parte di un'altra categoria manifatturiera.

Il comparto tessile è un settore di antica tradizione; ampio ed eterogeneo realizza svariate tipologie di prodotti in quantità annuali decisamente rilevanti, acquisendo una posizione di assoluto rilievo ed importanza rispetto all'economia manifatturiera mondiale.

L'Italia è considerato il primo Paese produttore di manufatti tessili a livello europeo, seguito da Germania, Gran Bretagna, Francia e Spagna, presentando una produttività annua (secondo gli ultimi dati ISTAT aggiornati al 2018) che garantisce l'inserimento sul mercato di circa 1.550.000 tonnellate di prodotti tessili filati o intermedi e circa 1.150.000.000 m<sup>2</sup> di manufatti tessili tessuti.

Ad oggi sempre secondo gli ultimi dati ISTAT del 2018 sono circa 13.500 le industrie

tessili *dislocate sul territorio nazionale*<sup>12</sup>, organizzate, a seconda delle peculiarità delle imprese, in *distretti industriali*<sup>13</sup> specializzati e ben definiti. Tra i più importanti distretti tessili italiani troviamo: Biella, Prato, Como, Carpi – Modena, Varese, Perugia ecc...

Dopo questa breve e necessaria introduzione sul settore tessile ci si può concentrare sui residui che ne derivano. Tralasciando l'analisi del destino che i prodotti tessili hanno una volta giunti a fine vita e quindi in una fase che si può definire di post-consumo, in questa ricerca ci si concentra esclusivamente sui residui che il ramo tessile genera durante i processi produttivi che portano alla realizzazione dei prodotti finali, dunque in una fase che possiamo definire industriale (o pre-consumo).

Bisogna tenere in considerazione che le tipologie di scarti ottenuti dall'industria tessile sono estremamente variabili, in quanto vengono generati, lungo diversi stadi, da macchinari che effettuano lavorazioni eterogenee, possono avere diverse lunghezze o conformazioni e soprattutto hanno origini naturali differenti.

Proprio su quest'ultimo punto è necessario un ragionamento; non è semplice individuare all'interno di uno stabilimento tessile scarti di composizione omogenea, poichè anche nei distretti in cui si può dare per scontato che ci sia un ciclo che utilizza prevalentemente materie prime di stessa origine (ad esempio in un distretto tessile laniero, cotoniero o serico),

<sup>11</sup> Le fibre tessili lavorate possono essere suddivise, in base all'origine, come naturali (animali, vegetali e minerali) o chimiche (artificiali e sintetiche).

<sup>12</sup> Nello specifico in Italia si ha una prevalenza del tessile al Nord che ospita il 52% delle attività, seguito dal Centro con il 32% ed infine il Sud che accoglie il restante 16% delle imprese.

<sup>13</sup> Si definisce distretto industriale un'agglomerazione di imprese (in generale di piccole e medie dimensioni) collocate all'interno di un determinato territorio circoscritto, caratterizzate da una specializzazione produttiva omogenea e legate tra loro da esperienze storiche, sociali ed economico-culturali comuni.

spesso vengono realizzati in fase produttiva degli accoppiamenti di materiali diversi che causano a loro volta residui misti, abitualmente raccolti per convenienza, soprattutto temporale ed economica, senza divisioni.

I residui di processo che vengono ottenuti in tutte le filiere del tessile si possono riassumere in *tipologie fibrose*, come le polveri tessili da aspirazione, i *cascami*<sup>14</sup>, le cimosse o le false cimosse oppure *di altra natura*, come tra gli altri le polveri di terriccio, i grassi ed il sudiciume (ottenuti dalla lavorazione della maggioranza delle fibre tessili naturali), le acque reflue di lavaggio o trattamento e pigmenti; questa categoria non è presa in considerazione nell'analisi successiva.

Per quanto riguarda la prima categoria, i residui si possono quantificare in un numero che varia tra i 200.000 e 250.000 quintali annui sulla base di dati non ufficiali forniti da associazioni di settore; una quantificazione più attendibile dovrebbe essere fatta in base a studi settoriali che tengano in considerazione i dati indicati direttamente dagli industriali tessili, ovvero dai produttori dei residui.

Questi scarti, in base alla tipologia, alla provenienza, alle caratteristiche ed all'azienda che li produce, vengono stoccati in magazzino per poi essere:

- *smaltiti* come rifiuti speciali non pericolosi tramite assegnazione del codice CER alla classe "0402 Rifiuti dell'industria tessile";
- *riutilizzati come sottoprodotti* in altri cicli produttivi tessili, attraverso aziende specializzate nella raccolta e lavorazione degli sfridi (cimosse) o cascami, pratica che provoca una plusvalenza economica nella casse delle aziende.

L'interesse verso il riutilizzo di questi residui

come sottoprodotti è elevato, tanto che esistono ricerche volte non solo all'implementazione del riuso nel campo tessile, ma anche al loro impiego in filiere di settori industriali differenti.

<sup>14</sup> Si definisce *cascame* un residuo che si separa da un prodotto industriale durante la sua lavorazione. Nell'industria tessile si creano *cascami* lungo tutto il processo produttivo e tra i più significativi abbiamo quelli delle operazioni di preparazione alla filatura (ad esempio in cardatura e pettinatura) e della filatura stessa.



# **RESIDUI AGRICOLI DA ALLEVAMENTO**

La lana italiana

**4**



**Figura 1** - La lana italiana

All'interno del seguente capitolo viene posta in analisi la filiera della lana, a partire da quella che comunemente conosciamo come prodotto per usi tessili, fino ad arrivare alla lana italiana utilizzata come materia prima per i pannelli sperimentali.

Un' approfondimento specifico e differenziato quando si parla di lana italiana è necessario in quanto, come vedremo per determinati motivi, a differenza delle lane tessili, viene considerata a tutti gli effetti un residuo e non un prodotto.

## 4.2 LA LANA ITALIANA

*La lana è una fibra naturale rinnovabile di origine animale ottenuta dalla tosa del vello (manto protettivo peloso di un animale) principalmente di ovini ma anche di caprini, camelidi e ruminanti.*

All'interno di questa ricerca si sottolinea che verrà inteso con il termine "lana" unicamente il pelo del vello delle pecore e degli arieti, ovvero mammiferi ovini della famiglia dei Bovidae (del tipo *Ovis*, specie *Ovis aries*), tralasciando gli altri significati.

L'addomesticamento della pecora è risalente a tempi molto antichi e ad oggi è pratica diffusa in tutto il globo tant'è che gli ovini assieme ai bovini sono tra le specie più allevate al mondo. Lo scopo principale dell'allevamento ovino è quello di ottenere fibre di lana da utilizzare nel mercato tessile attraverso razze che sempre più, con opportuni miglioramenti genetici, si sono specializzate nel pregio di questa materia prima.

La produzione di la lana sucida mondiale secondo i dati forniti dall'Assemblea Generale Annuale Ordinaria dell'Associazione Nazionale del Commercio Laniero (Italian Wool Trade Association, IWTA) riferita all'anno 2018, si attesta in circa 1.200.000 tonnellate,

occupando solo una piccola fetta percentuale (1,2%) del totale di fibre tessili prodotte annualmente, uguale a circa 103.300.000 di tonnellate.

L'industria delle fibre è definibile di fatto come il primo anello dell'industria tessile.

I principali paesi produttori di fibra di lana, ovvero quelli che vantano il maggior numero di capi di bestiame ovino allevato per la produzione di lana, sono: Australia, Cina, Nuova Zelanda, Uruguay, Argentina, Iran, Pakistan, Sudafrica e Regno Unito.

Una volta raccolta la lana viene esportata e acquistata da Paesi dotati di industrie trasformatrici (analizzate nei capitoli seguenti), le quali molto spesso non dispongono di materia prima adeguata (è il caso per esempio dell'Italia, della Francia, del Giappone, del Regno Unito e della Germania), oppure hanno a disposizione scarse produzioni rispetto alla quantità di lana che possono trasformare (è il caso ad esempio della Cina).

Se la lana risulta essere l'obiettivo principale per cui vengono allevate la maggior parte degli ovini nel mondo, esistono tuttavia razze autoctone (o locali) che per motivi genetici e climatici, non producono lana che soddisfa i parametri di finezza del mercato e dunque le pecore sono allevate con scopo di ottenere latte e carne; la lana in questo caso non è un prodotto ma è considerata a tutti gli effetti un residuo. Ne è un esempio la lana italiana.

L'Italia grazie ad un'importante e sviluppata industria tessile laniera è tra i primi produttori di manufatti lanieri al mondo, ma la lana utilizzata nelle nostre aziende non è quella italiana. Infatti è importata da Paesi esteri esportatori come Australia, Nuova Zelanda, Sud America e Sudafrica.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

La lana italiana, intesa come lana derivante dagli allevamenti del nostro Paese, è un residuo agroalimentare di origine animale ottenuto dalla filiera dell'allevamento di ovini, di razze ufficialmente riconosciute (iscritte nei Libri Genealogici <sup>1</sup>) o di altre razze locali autoctone (dotate di Registri Anagrafici <sup>2</sup>), finalizzato alla produzione di carne o latte. Si presenta come una fibra di poco pregio, rustica, grossolana (ad elevato micronaggio) e ad oggi fatica a trovare un facile impiego nell'industria tessile, che predilige lane più fini e dunque viene considerata tendenzialmente come un prodotto di scarto.

Per la realizzazione dei pannelli *AGROTESs* è stata utilizzata lana della razza autoctona *Biellese* fornita da allevatori biellesi, dunque locali, ed in giacenza presso il CNR di Biella.

##### 4.1.1 Composizione chimica

La composizione chimica della fibra di lana è prevalentemente proteica (circa per il 97%), simile a quella dei peli, dei tessuti epidermici, delle piume, dei corni e degli zoccoli, composta principalmente (circa per l'85%) da una proteina insolubile in acqua chiamata cheratina. *“La cheratina è un composto organico, una proteina fibrosa particolarmente diffusa nelle parti di rivestimento e di protezione degli animali.”* <sup>3</sup>

Le proteine sono costituite da amminoacidi che



<sup>1</sup> I Libri Genealogici sono dei registri di censimento di animali appartenenti ad una determinata specie o razza, tenuti e gestiti dalle associazioni nazionali degli allevatori. Vengono istituiti per quelle razze di specie domestiche ad interesse zootecnico (come ovini, suini, caprini, bovini ed equini) permettendone un elevato grado di selezione, purezza, monitoraggio, protezione e miglioramento della razza.

<sup>2</sup> I Registri Anagrafici sono strumenti di tutela e conservazione per le razze (non precisamente definite) che non sono provviste di Libro Genealogico. Sono tendenzialmente registri istituiti per la salvaguardia e la conservazione dei caratteri e del patrimonio genetico di popolazioni autoctone ed a diffusione limitata, spesso minacciate di estinzione.

<sup>3</sup> <http://www.treccani.it/vocabolario/>.



**Figura 2** - L'allevamento delle pecore  
(Fotografia di Brunetto Ziosi da Unsplash)

contengono esclusivamente cinque elementi chimici: C (Carbonio), O (Ossigeno), N (Azoto), H (Idrogeno) ed S (Zolfo). In base al tipo, al numero e all'ordine di sequenza con cui si legano questi elementi, si ottengono diverse forme di amminoacidi che a loro volta formeranno differenti tipologie di proteine.

Al termine cheratina deve essere attribuito un significato generico, infatti, seppur sempre caratterizzata da un elevato contenuto di cistina (amminoacido che include zolfo), alcuni studi dimostrano come la sua struttura sia variabile non solo tra le diverse specie animali lanose, ma anche all'interno di una stessa; dunque la composizione della cheratina dovrebbe essere analizzata specificatamente per ogni razza.

La struttura proteica della lana è direttamente influenzata dal regime di vita della pecora (dieta, clima, habitat, provenienza), comportando variazioni delle caratteristiche tra le varie lane.

#### 4.1.2 La lana sucida

Introdotta la composizione chimica della lana, fondamentale a questo punto è distinguere la fibra di lana da noi intesa, dalla lana greggia derivante dal vello tosato dell'ovino.

La lana greggia, comunemente chiamata anche lana sucida, contiene sostanze considerate impurità che dovranno essere successivamente eliminate. La presenza e la quantità delle impurezze del vello, varia a seconda dell'ambiente ed in base alla genetica dell'animale.

Sono caratterizzate tre tipologie di impurità:

- *naturali*, come *le cere ed il suint*<sup>4</sup>, ovvero secrezioni delle ghiandole della pelle che si depositano sulla fibra di lana durante la crescita dell'ovino e servono principalmente a

proteggerla da agenti esterni.

- *acquisite*, di tipo minerale come la polvere e la sporcizia oppure vegetali come paglia, rami ed erbacce, intrappolate nel vello lungo la vita al pascolo della pecora.

- *applicate*, attraverso sostanze usate per trattamenti contro le malattie, o sostanze utilizzate per la marchiatura di riconoscimento del bestiame.

Ricerche settoriali hanno dimostrato come la lana sucida possa arrivare a contenere impurità per oltre il 50% del suo peso, quantità che varia tra i velli delle razze ovine ma spesso anche tra capi della stessa razza.

Le impurità vengono eliminate lungo tutto il ciclo di lavorazione attraverso operazioni meccaniche (apertura, battitura, cardatura e pettinatura) ed attraverso l'operazione di lavaggio della lana sucida. Le prime agiscono esclusivamente sulle impurità acquisite dall'animale, mentre il lavaggio ha effetto principalmente sulle impurità naturali ed applicate e in maniera secondaria, ma non trascurabile, sulle impurità acquisite.

Il suint è solubile in acqua fredda mentre le cere o grassi necessitano di solventi organici in bagno riscaldato, in quanto insolubili in acqua. La cera di lana sciolta nelle vasche di lavaggio viene recuperata ed attraverso processi di purificazione si ottiene la lanolina (cera di lana purificata), successivamente utilizzata dalle aziende farmaceutiche come base per la realizzazione di cosmetici.

#### 4.1.3 Struttura della fibra

La pelle o cute dei mammiferi è costituita

.....

<sup>4</sup> Le cere (o grassi) ed il suint vengono identificati con il termine inglese "yolk" che indica la totalità di materiale secreto dalle ghiandole pilifere della pecora estraneo alla fibra di lana ma ad essa attaccati.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

principalmente da due strati, uno più esterno, chiamato epidermide ed uno più interno di nome derma. Da radici posizionate nel derma dell'ovino, nasce la fibra di lana che è composta da tre componenti:

- *la cuticola*;
- *il cortice* (o cortex);
- *il midollo* (non presente nelle fibre fini);

La cuticola rappresenta lo strato esterno e protettivo della fibra di lana e si distingue per il suo aspetto caratteristico detto "a scaglie". È composta infatti da cellule che si sovrappongono formando una struttura a scalini (normalmente chiamata appunto "struttura a scaglie") dirette verso la punta della fibra e che tendono a rigonfiarsi e compattarsi in modo irreversibile se soggette ad acqua calda ed azione meccanica, provocando l'infeltrimento della lana. La cuticola rappresenta circa il 10% della massa di una fibra di lana fine.

All'interno della cuticola è presente il cortice (o cortex) costituito da una serie di cellule allungate a sezione irregolare, parallele all'asse della fibra e fortemente cementate fra loro. Il cortex è la parte principale di una fibra di lana e svolge un ruolo principale nella determinazione delle sue proprietà fisiche di tipo meccanico. Può arrivare ad occupare fino a circa il 90% della massa di una fibra di lana fine.

Il cortice è suddiviso generalmente in due distinti componenti, il paracortex e l'ortocortex, che differiscono tra loro per caratteristiche e per comportamento verso determinati trattamenti e risultano coinvolti nella formazione dell'arricciatura della fibra.

Il midollo si trova solo nelle fibre ad elevato micronaggio (che superano i 30/35 µm di diametro) presentandosi come una struttura cava, piena di aria e granuli all'interno della

fibra, che può arrivare ad essere occupata fino al 90% dal midollo.

La midollazione, se da una parte ha un effetto positivo nell'isolamento termico delle lane, dall'altra crea inconvenienti nelle fasi di lavorazione dell'industria tessile laniera.

#### 4.1.4 Il destino della lana italiana

Secondo gli ultimi dati ISTAT aggiornati al 2017, la popolazione ovina in Italia supera i 7 milioni di esemplari (*7.215.433 ovini di cui 6.271.593 pecore e 943.840 arieti*)<sup>5</sup> con una produzione di lana sucida che si aggira approssimativamente intorno alle 12 mila tonnellate (ipotizzando la produzione media di lana per capo variabile tra 1,5 kg e 2 kg). Il dato ISTAT sul numero di ovini discosta dai più recenti dati forniti dalla BDN (Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica, istituita dal Ministero della Salute presso il CSN dell'Istituto "G. Caporale" di Teramo) aggiornati al 2018, i quali indicano una popolazione ovina pari a 6.877.329.

Il patrimonio ovino è principalmente concentrato nel Mezzogiorno che detiene circa il 72% delle pecore dello stivale, seguito dal Centro Italia con il 21%, ed infine dal Nord che si attesta sul 7% circa.

Anche la distribuzione regionale delle pecore, ovviamente, rispecchia queste percentuali, infatti tra le prime sei regioni come numero di ovini troviamo quattro regioni del Sud e due del Centro Italia, in ordine di capi: Sardegna, Sicilia, Lazio, Toscana, Calabria e Basilicata.

.....

<sup>5</sup> Il nome pecora, in gergo tecnico, è riservato all'adulto femmina, mentre il maschio è chiamato ariete (o montone). Il piccolo ovino, fino a un anno di età, è denominato agnello. Dopo questa specificazione, è utile informare come questa ricerca, quando si parla di pecora, viene intesa la razza ovina, senza una distinzione tra pecora ed ariete.



**Figura 3** - La tosatura di una pecora  
(Fotografia di Sabine Löwer da Pixabay)

La prima regione del Nord per numero di capi è la Lombardia, seguita a ruota dal Piemonte. I dati potrebbero essere sottostimati in quanto molti allevatori per evitare imposte elevate non denunciano il numero corretto di esemplari del loro gregge, rendendo difficile un monitoraggio preciso della popolazione.

Gli ovini per la loro salute devono essere tosati, ovvero deve essere rimosso lo strato di vello che li ricopre attraverso l'operazione della tosatura. Questa viene fatta di norma una volta all'anno (anche se esistono casi particolari in cui l'ovino viene tosato due volte nell'arco dell'anno), causando una perdita economica per l'allevatore qualora si affidi ad un operatore specializzato (intorno a 1,50 euro a capo) oppure un dispendio di tempo qualora lui stesso decida di tosare il gregge.

Attualmente la lana sucida italiana una volta tosata può:

- essere smaltita *illegalmente* dai pastori che, pur di non pagare gli oneri di smaltimento, la interrano o la bruciano causando gravi danni

ambientali nell'aria ed alle falde acquifere;

- essere smaltita legalmente secondo *Direttiva europea 1069/2009/CE "Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e che abroga il regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale)"*, come rifiuto speciale non pericoloso tramite assegnazione del codice CER "020199 Rifiuti non specificati altrimenti" alla classe "Rifiuti prodotti da agricoltura, orticoltura, acquacoltura, selvicoltura, caccia e pesca" pesando ulteriormente sulle economie dell'allevatore (con un costo che varia tra i 2 euro/kg e 3 euro/kg);

- essere venduta come sottoprodotto attraverso intermediari/commercianti<sup>6</sup> ad acquirenti esteri (India, Cina, Turchia, Pakistan, Russia) ad una cifra che si aggira tra i 0,30 - 0,80 euro/kg per la produzione di tappeti, moquette, imbottiture o filati grossolani. Un'altra opportunità è quella di cederla a realtà imprenditoriali o artigianali nazionali per un utilizzo in produzioni di nicchia, ad un prezzo uguale a quello per il mercato internazionale. Bisogna tenere conto che per essere utilizzata la lana necessita di essere sottoposta a *specifici trattamenti*<sup>7</sup>.

La situazione delineata lascia trasparire la forte necessità di trasformare un materiale,

<sup>6</sup> intermediari/commercianti sono a volte gli imprenditori delle aziende di lavaggio, che raccolgono la lana locale per lavarla e rivenderla all'estero.

<sup>7</sup> La lana in generale, può essere destinata ad impianti per la trasformazione in manufatti e reimmessa sul mercato solo dopo specifici trattamenti che ne permettono di abbassare la carica batterica (normalmente un trattamento igienizzante rappresentato dal lavaggio) e solo se proveniente da allevamenti controllati e da animali che non mostrano sintomi di malattie trasmissibili all'uomo o agli altri animali.

L'elevato contenuto batterico della lana sucida, implica che qualora si preveda lo smaltimento del vello e non il suo utilizzo, questo può avvenire secondo i metodi previsti normati (incenerimento o smaltimento in impianti autorizzati) in quanto si potrebbero causare problemi igienici e sanitari.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

che un tempo veniva usato per molteplici produzioni, ma che oggi è perlopiù un rifiuto e di conseguenza un peso per l'economia degli allevatori, in una risorsa.

Reinserire all'interno di un ciclo produttivo la lana italiana, attivando nuove economie industriali ed artigianali, sondando anche nuovi mercati, comporterebbe una importante e positiva ricaduta, non solo finanziaria per le aziende e gli allevatori del settore, ma anche un surplus culturale e di tutela ambientale a livello territoriale.

Data l'elevata quantità di lana disponibile, le opportunità su cui muoversi in questo senso sono molte. Tra gli scenari su cui riflettere, vi è quello rappresentato dalla valorizzazione ed utilizzo di lane derivanti da razze locali (o autoctone) proprio all'interno del territorio di provenienza, in modo da permettere così di attivare un processo di economia circolare locale, che sfrutta uno scarto territoriale per realizzare nuovi prodotti (innovativi o tradizionali) per nuovi mercati.

##### 4.1.5 Alcuni campi di utilizzo

Esistono sempre più progetti e realtà che negli ultimi anni, sensibilizzate dal tema, stanno cercando di sfruttare le caratteristiche e la grande quantità di materia prima offerta dalle lane rustiche italiane, in maniera più o meno tradizionale, per la realizzazione di nuovi prodotti.

La ricerca sta cercando di proporre sviluppi in diversi campi; nonostante ci sia da dire che l'applicazione in ambito tessile ed abbigliamento rimane lo sbocco principale di ricerca, sono stati riscontrati anche ottimi risultati nell'uso in bioedilizia, nella vivaistica e nell'agrotessile.

*Tessile ed abbigliamento* sono i settori dove le

fibre di lana di tutte le qualità, sono da sempre utilizzate, sia da produttori artigianali che industriali, per la creazione di tessuti e manufatti più o meno pregiati. Nel mercato tessile laniero mondiale attuale però, influenzato dalla globalizzazione, fa sempre più fatica a trovare spazio la lana grossolana come quella italiana. Il motivo è abbastanza evidente, da lane grossolane derivano filati a *titolo*<sup>8</sup> elevato che comportano tessuti molto ruvidi, ispidi e rigidi, quindi generalmente poco confortevoli rispetto ai tessuti di lana che il consumatore odierno è abituato ad indossare. La ricerca dimostra però, come applicando alcuni accorgimenti di gestione e controllo lungo tutta la filiera, sia possibile migliorare la qualità delle lane del nostro paese, favorendone il loro impiego tessile e la loro diffusione.

Se si analizza il prodotto tessile e moda rustico, risulta favorevole e preferibile rispetto ai tradizionali manufatti di lana, per il suo intrinseco aspetto sostenibile (sostenibilità sia ambientale che sociale), oggi per fortuna sempre più valutato all'interno di una fetta di mercato dei consumatori attenti e sensibili. La sostenibilità dona sicuramente un valore aggiunto ai prodotti ed indubbiamente fertilità ad un settore che rimane comunque considerato di nicchia.

Esistono sempre più realtà artigianali ed industriali, che ad oggi utilizzano ancora o hanno deciso di reintrodurre all'interno di alcune loro linee le lane autoctone italiane, per la realizzazione di filati, di tessuti per l'abbigliamento e per l'arredamento, di vestiario tradizionale, di maglieria e di accessori moda.

.....

<sup>8</sup> Con titolo tessile si intende l'unità di misura con cui viene misurato un filato. Essendo il filato facilmente deformabile ed irregolare, infatti, non è possibile attingere ad una misura del diametro. Il titolo di un filato dunque viene misurato attraverso un rapporto tra lunghezza e peso.

Le più interessanti da questo punto di vista sono: *Consorzio Biella The Wool Company, Tessile Crabolu, Filature Arpin e Les Tisserands*<sup>9</sup>.

La *bioedilizia* è il settore di applicazione più sviluppato ad oggi dopo quello tessile ed abbigliamento; è già disponibile sul mercato e permette promettenti ragionamenti in prospettiva. In particolare gli utilizzi che si riscontrano sono come isolante termo-acustico ed in maniera meno rilevante come contenitore arboreo per giardini verticali.

L'utilizzo della lana come isolante termico e acustico per la bioedilizia è consuetudine antica, infatti le ottime capacità isolanti dei manufatti lanieri sono conosciute ed usate da epoche primitive.

La lana, grazie alle sue proprietà fisiche e chimiche ed alla sua struttura, come già spiegato in precedenza, è in grado di offrire coibenti con ottime caratteristiche, sia dal punto di vista termoisolante, acustico, di traspirabilità, di resistenza al fuoco, di idrorepellenza e sia rispetto al controllo della *contaminazione dell'aria indoor*<sup>10</sup>. Ottimo è anche il controllo naturale dell'umidità, infatti essa la assorbe e la cede all'ambiente interno regolandone naturalmente il quantitativo ed evitando sgradevoli fenomeni di condensa.

Promuovere l'utilizzo delle lane italiane come isolante per ristrutturazioni, restauri o nuove costruzioni, offre una alternativa valida e sostenibile agli isolanti di origine sintetica, che negli anni hanno occupato fette di mercato sempre maggiori a discapito dei prodotti concorrenti naturali. Lo sviluppo di questo segmento, permetterebbe inoltre l'impiego di una mole di materiale elevata, creando un risvolto positivo ed interessante in termini di quantità e di impatto ambientale.

Alcuni studi affermano come lane italiane, grossolane e quindi di poco pregio tessile, ben si prestano per essere utilizzate come isolanti in quanto presentano una ampia cavità interna (midollazione) in grado di contenere un quantitativo di aria maggiore rispetto alle lane fini e pregiate, il che incide positivamente sull'azione coibente dei manufatti.

Le tipologie di isolanti di lana più comuni ottenibili fino ad oggi, possono essere misti con altri materiali, non sono portanti, sono in rotoli o a pannelli pretagliati, agugliati o infeltriti a spessore variabile fino ad un massimo di 10 cm, facilmente tagliabili, fissati tramite graffe, chiodi, tasselli o a colla su piani sia orizzontali che verticali ed obliqui. Esistono esempi di utilizzo ed applicazione direttamente in fiocchi posati o manualmente, o tramite insufflaggio sotto pressione quando si interviene su intercapedini.

L'impiego della lana in giardini verticali è un progetto nuovo, mirato a sfruttare le sue buone caratteristiche a contatto con la terra. La realizzazione di sacche e contenitori di lana per le piantine potrebbe avere effetti oltre che estetici anche benefici, rispetto all'assorbimento di CO<sub>2</sub> e di raggi UV.

La lana lavata, in quanto prodotto naturale, ben si adatta con il terriccio e le piantine, è atossica, riciclabile e biocompatibile. Grazie alla sua igroscopicità è in grado di far mantenere il contenuto sempre al giusto grado di umidità

<sup>9</sup> <https://www.biellathewoolcompany.it/>, <http://www.tessilecrabolu.com/>, <https://arpin1817.com/it/>, <http://www.lesstisserands.it/>.

<sup>10</sup> All'interno di un ambiente confinato sono spesso presenti molte sostanze inquinanti come biossido di azoto, biossido di zolfo e formaldeide, che a lungo ed in quantità eccessive possono causare gravi problemi per la salute umana. I prodotti di lana permettono di assorbire e successivamente trasformare chimicamente queste molecole pericolose in sostanze neutre ed atossiche, migliorando la qualità interna dell'aria.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

creandogli beneficio.

Progetti di ricerca conclusi o ancora in fase di sperimentazione, si sono avviati negli ultimi anni con lo scopo di sviluppare migliorare le prestazioni dei prodotti lanieri con lana italiana nel campo della bioedilizia. Di seguito vengono elencate realtà più interessanti: *Edilana, Wool4build, Manifattura Maiano, Brebey, Davifil, Verdicale e Senza terra coltivare in lana*<sup>11</sup>.

La vivaistica e l'agrotessile sono gli utilizzi più innovativi delle lane italiane; qui troviamo la realizzazione di *fertilizzanti*<sup>12</sup> e teli pacciamanti. È stato dimostrato attraverso alcuni studi che l'impiego della lana di pecora come fertilizzante per l'agricoltura biologica, grazie alla struttura chimica contenente elevata quantità di sostanze nutritive, quali zolfo, carbonio ed azoto, abbia un effetto benefico, performante ed a effetto prolungato verso le piante presenti all'interno del substrato di terreno sul quale il concime è applicato. La caratteristica igroscopica della lana, ancora, è in grado di aumentare le capacità di approvvigionamento idrico del terreno in periodi di siccità.

L'impiego di teli pacciamanti naturali in agricoltura può presentare una valida alternativa rispetto ad un mercato che ad oggi vede dominare teloni in film plastici e tessuti non tessuti sintetici (poliestere e polipropilene).

La funzione principale del telo pacciamante è quella di evitare la formazione di erbe infestanti attraverso l'effetto diserbante realizzato tramite le ottime capacità di soffocamento verso il terreno. La copertura del terreno con pacciamanti implica anche un impiego minore di acqua per la coltura, grazie alla maggiore umidità conservata nel tempo sul terreno.

Teli pacciamanti realizzati con fibre di lana oltre alla loro *biodegradabilità*<sup>13</sup> variabile

in un arco di tempo massimo di cinque anni, presentano vantaggi rispetto a quelli sintetici, in termini di proprietà isolanti verso il terreno, di permeabilità all'acqua e ai fertilizzanti e di mantenimento di una temperatura costante del suolo.

Tra i progetti più interessanti di riutilizzo delle lane grossolane italiane nel settore vivaistico ed agricolo troviamo: *Life + Greenwoolf, Gesal, Compo e Sudtiroler Wollwelt*<sup>14</sup>.

Esistono *altri utilizzi*, soprattutto in fase di studio che offrono ulteriori prospettive ancora di nicchia ma molto interessanti. Tra queste troviamo sperimentazioni nel campo energetico per la generazione di biogas e progetti di utilizzo delle lane autoctone per l'assorbimento di sostanze nocive ed inquinanti disperse in acqua e nell'aria, riassumibili nelle realtà: *Woolres e Biochar*<sup>15</sup>.

#### 4.1.6 Le razze ovine in Piemonte

Il patrimonio ovino italiano è molto variegato e risulterebbe quasi impossibile analizzare tutte le razze che lo compongono, se non a seguito di una ricerca molto accurata.

Ottimi strumenti che aiutano a comprendere e descrivere l'ovinicoltura italiana sono i Libri Genealogici, studiati a livello nazionale, per razze ovine produttive essenzialmente di carne

<sup>11</sup> <http://www.edilana.com/index.asp>, <http://www.wool4build.com/it/>, <http://www.maiano.it/edilizia/naturtherm-wo-isolante-termoacustico-in-lana-di-pecora.html>, <https://www.brebey.com/>, <https://www.davifil-bioisol.com/>, <http://www.coltivareinlana.it/>.

<sup>12</sup> "Sostanze che, per il loro contenuto di elementi nutritivi oppure per le peculiari caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche contribuiscono al miglioramento della fertilità del terreno agrario oppure al nutrimento delle specie vegetali coltivate o, comunque, a un loro migliore sviluppo" (<http://www.treccani.it/enciclopedia/>).

<sup>13</sup> Una volta biodegradato il telo pacciamante in lana, viene incorporato nel suolo, agendo come fertilizzante per le successive colture.

<sup>14</sup> <http://www.life-greenwoolf.eu/>, <https://www.gesal.ch/ch/it/start> <https://www.compo-hobby.it/it/it/start>.

<sup>15</sup> <http://www.woolres.com/>, <https://www.pointex.eu/biochar>.

e/o di latte. Non tutte le razze di pecore sono dotate di Libro Genealogico, ma l'insieme di questo elenco, è in grado di fornirci una visione generale della fetta maggioritaria delle pecore presenti nella nostra penisola. Le razze non dotate di Libro Genealogico sono monitorate tramite Registri Anagrafici.

La ricerca si concentra sulla regione Piemonte che nonostante non si posizioni tra le prime regioni come numero di capi a livello nazionale, è assieme alla Lombardia la regione con maggior numero di ovini nel settentrione. Non sono da trascurare infatti, gli oltre 100.000 capi che popolano gli allevamenti piemontesi (circa il 2% del patrimonio nazionale), che potrebbero fornire un quantitativo di lana notevole al mercato e che sarebbero in grado di attivare una filiera produttiva corta e replicabile in altre realtà regionali. I dati ISAT aggiornati al 2017, indicano una popolazione ovina piemontese di 121.154 capi (82.282 pecore e 38.872 arieti), mentre come riscontrato per i dati nazionali, leggermente diversi sono i più recenti numeri censiti dalla BDN (Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica istituita dal Ministero della Salute presso il CSN dell'Istituto "G. Caporale" di Teramo) aggiornati al 2018, che individua 103.918 ovini in Piemonte.

Importante da sottolineare risulta anche la biodiversità zootecnica delle pecore piemontesi, caratterizzata da numerose razze autoctone (locali). Tra le razze iscritte nei Libri Genealogici e quelle locali dotate di Registri Anagrafici, se ne possono contare 12 differenti famiglie:

- iscritte al Libro Genealogico: Biellese e Delle Langhe;
- dotate di Registro Anagrafico: Frabosana, Sambucana, Garessina, Savoiarda, Saltasassi,

Sampeirina, Tacola, Rosset, Vallesana e Finarda.

È da tenere in considerazione, ai fini della ricerca, come la consistenza in numero di capi di alcune di queste razze, potrebbe aumentare nei prossimi anni, grazie a particolari piani di sviluppo adottati a livello regionale che ne incentivano l'allevamento. Razze come la Sambucana, la Garessina, la Frabosana, la Saltasassi, la Tacola, la Delle Langhe e la Savoiarda, sono inserite difatti all'interno della *misura M10 - Agroambiente del PSR 2014-2020*<sup>16</sup>, indicate nell'elenco delle razze autoctone minacciate di abbandono, che prevede un sostegno economico (premio) agli allevatori che le allevano.

Il recupero delle lane locali e delle razze produttrici autoctone, è l'obiettivo anche di molti Programmi di sviluppo locale (PSL), che vedono coinvolti i *GAL (Gruppi di Azione Locale)*<sup>17</sup> nella definizione delle strategie principali di intervento.

#### 4.1.7 Proprietà principali

Vengono indicate in seguito le principali proprietà intrinseche della lana che, come già specificato precedentemente, presentano differenze strutturali e morfologiche, in base alla razza, alla provenienza, alla dieta ed all'habitat dell'ovino. Questo comporta variazioni leggere

<sup>16</sup> Il Programma di Sviluppo Rurale "PSR 2014-2020" è un piano attuato dalla Regione Piemonte di durata settennale che prevede un finanziamento pubblico di circa un miliardo di euro, per sostenere la crescita del comparto agricolo e del mondo rurale piemontese, individuando strategie ed interventi per la sua innovazione, la sua trasformazione e l'integrazione con gli altri comparti economico-sociali. È suddiviso in 15 misure di intervento, revisionate e monitorate periodicamente.

<sup>17</sup> I Gruppi di Azione Locale (GAL) sono società, associazioni, consorzi o fondazioni nate con l'obiettivo di valorizzare e promuovere lo sviluppo locale in cui sorgono, attraverso strategie che cercano di coinvolgere gli operatori economici e sociali del territorio. In Piemonte se ne contano 14.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

o sostanziali tra le proprietà principali delle varie lane. Alcune considerazioni verranno fatte anche rispetto alle proprietà dei manufatti lanieri.

### Proprietà morfologiche

Con proprietà morfologiche si fa riferimento allo studio della forma e dell'aspetto delle fibre, le quali risultano in stretta correlazione con la loro composizione chimica e la loro struttura. Sono valutabili per la lana con finezza, lunghezza, arricciatura, colore e lucentezza.

La *finezza*<sup>18</sup> è una delle peculiarità più importanti per una fibra di lana, poiché determina molte caratteristiche di lavorazione e di qualità di un prodotto finito. Viene misurata in micron (o micrometri:  $\mu\text{m}$ ) e varia in valore tra i 12 - 13  $\mu\text{m}$  per le lane fini, fino ad oltre 40 - 50  $\mu\text{m}$  per le lane grossolane e da tappeti.

Esistono varie classificazioni in base alla finezza delle lane di pecora, di seguito viene riportata la classificazione commerciale che generalmente risulta la suddivisione più utilizzata: lane fini, lane medie o ordinarie, lane grossolane, lane da tappeti.

È importante sottolineare come solitamente si presenti all'interno di un insieme di fibre considerato, un coefficiente di variazione della finezza delle fibre che oscilla tra il 20% ed il 30%, e di come quindi la finezza indicata per l'insieme sarà il valore medio dei diametri delle fibre ad esso appartenenti.

La lunghezza della lana, importante nella valutazione di predisposizione della fibra ai vari cicli produttivi, varia dai 4 ai 12 cm per le lane fini, da 5 a 17 cm per le medie e da 12 fino a 35 cm per le più grossolane. In generale è direttamente proporzionale alla finezza, infatti al crescere del diametro cresce la lunghezza media delle fibre e viceversa.

Esiste una correlazione diretta della lunghezza anche rispetto al numero di arricciature della fibra. Posta una leggera trazione, essa maggiore fino ad oltre l'80% l'iniziale misura, a seconda del numero di arricciature o onde presenti.

Lo sviluppo della lunghezza di fatto risulta controllato dall'uomo in base al numero di operazioni di tosatura svolte annualmente, queste, sono dettate da fattori climatici ed economici.

Fondamentale nel valutare le fibre di lana è l'arricciatura (o crimp), in quanto esse si sviluppano nel vello con una conformazione ondulata e spiraliforme.

L'arricciatura svolge un ruolo molto rilevante nella determinazione delle caratteristiche dei manufatti, influenzandone positivamente l'elasticità, la voluminosità, la resistenza all'usura e le proprietà termo-acustiche.

L'ondulazione è una particolarità univoca delle fibre di lana, infatti non si presenta in nessun'altra fibra naturale o chimica, se non applicata termo-meccanicamente alle fibre attraverso un'apposita lavorazione.

Esiste una correlazione diretta tra arricciatura e finezza delle fibre, all'aumentare delle onde al cm consegue una diminuzione della finezza media delle fibre.

Il colore delle lane è molto variabile in base alla razza dell'ovino, solitamente il colore è bianco con una tonalità variabile tra il bianco giallognolo ed il bianco avorio. Esistono

<sup>18</sup> Si deve tenere presente che la valutazione della finezza delle lane non è immediata e tiene conto di approssimazioni. Infatti analizzando la forma della sezione trasversale di una fibra di lana, essa risulta prettamente ellittica, irregolare e variabile dalla radice alla punta lungo l'asse longitudinale. Pertanto si è convenuto per la misura della finezza di ipotizzare la fibra come perfettamente cilindrica e dunque esprimibile con la misura del diametro.

comunque razze di pecore che producono fibre di lana di colore grigiastro, beige, rossastro, marroni o nere; la colorazione è dovuta alla presenza di pigmenti colorati dispersi al loro interno.

Le impurità presenti nel vello di lana sucido, possono mascherare il reale colore delle lane fino a variarlo in maniera definitiva. Anche a seguito di un profondo lavaggio queste non manifesteranno comunque il reale colore originario.

La lucentezza della lana è una proprietà che dipende dalla sua superficie squamosa (o a scaglie) ed è conseguenza dalla riflessione delle radiazioni solari da parte delle fibre. È apprezzabile quando vengono prese in considerazione un fascio di fibre piuttosto che la fibra singola.

### **Densità**

Come tutti i materiali la densità della lana dipende fortemente dalle condizioni e dal contenuto di umidità che presenta durante la prova.

La densità media di una lana non midollata (dunque a basso micronaggio) e secca (dunque posta sotto le condizioni standard e convenzionali di temperatura e umidità) è di 1310 – 1320 kg/m<sup>3</sup>.

Se confrontata con altre fibre tessili, la lana è tra le fibre più dense, ciò comporta che i prodotti di lanieri vengano considerati pesanti.

### **Proprietà termiche**

Con proprietà termiche della lana si intendono principalmente quelle proprietà che la fibra presenta nei confronti del calore. Importante risulta anche il comportamento alla trasmissione di calore della lana e dei suoi manufatti.

Gli effetti della lana all'esposizione al calore sono dettati da alcuni fattori quali temperatura, durata dell'esposizione, umidità dell'aria e pH della lana.

Se scaldate in aria secca fino a temperature intorno ai 100 °C, le lane diventano secche e perdono umidità che potrà essere ripresa attraverso l'esposizione per un determinato tempo all'aria umida. Il raggiungimento di temperature superiori ai 100 °C invece innesca un processo irrimediabile di decomposizione ed ingiallimento delle fibre. In generale invece temperature basse, non presentano effetti chimico-fisici sulle lane.

La fibra di lana resiste maggiormente all'esposizione al calore secco rispetto al calore umido.

La trasmissione del calore quando si parla di fibre, deve essere valutata non solo in base alle loro proprietà ma anche in base alle caratteristiche che avrà un manufatto ottenuto. La termocoibenza di un prodotto effettivamente, dipende in generale dalla conducibilità termica, influenzata da un insieme di combinazione di fattori tra cui: la struttura delle fibre, l'umidità, l'aria inglobata tra le parti (che comporta bassa densità e porosità) e la temperatura della prova. Genericamente i prodotti di lana hanno un'ottima termocoibenza, ovvero sono termicamente isolanti, grazie ai buoni valori di conducibilità termica (tra 0,037 e 0,044 W/mK) su cui influisce la struttura arricciata della fibra che permette di trattenere grandi quantità d'aria.

Il valore di calore specifico attestato per la lana è di 1500/1700 J/kgK.

### **Proprietà acustiche**

Con proprietà acustiche si intende la capacità o meno di un materiale di assorbire o riflettere

un'onda sonora che lo colpisce. La fibra di lana si dimostra adeguata alla formazione di prodotti dall'ottimo potere isolante, ciò vuol dire che è in grado di contribuire ad abbattere l'eventuale inquinamento acustico, ammortizzando il suono e le vibrazioni da esso prodotte a determinate frequenze.

L'ottimo potere di isolamento acustico ottenuto dai prodotti lanieri è dovuto oltre che alle caratteristiche produttive dello stesso, anche alle caratteristiche strutturali della lana, come l'ondulazione, l'elasticità e la presenza di strutture midollate (lane più grossolane hanno migliori proprietà acustiche rispetto a quelle fini). I buoni risultati vengono confermati da pannelli che ottengono valori ottimi durante i test di valutazione del coefficiente di assorbimento acustico e del potere fonoisolante alle diverse frequenze.

### Proprietà meccaniche

Con proprietà meccaniche delle fibre, si intendono le caratteristiche che queste presentano quando vengono sottoposte all'azione di sollecitazioni esterne singole o combinate (trazione, compressione, flessione, taglio e torsione). Le forze applicate si possono presentare sia durante le fasi di lavorazione e sia durante l'impiego delle fibre, causando una risposta strettamente dipendente dalle loro caratteristiche intrinseche e dalla struttura del prodotto finito che vanno a comporre.

Quando si parla di proprietà meccaniche della fibra di lana, gli studi vengono rivolti esclusivamente alle proprietà che la fibra presenta lungo il proprio asse e quindi nella direzione della propria lunghezza. Analizzare meccanicamente la lana è operazione complessa, i valori misurati sono dipendenti dal

tempo, dalle forze in gioco e dalle condizioni ambientali a cui è esposta.

Per conoscere i principali parametri derivanti da sollecitazione di trazione è necessario analizzare in generale la curva carico - allungamento, espressa attraverso un grafico ottenuto riportando i valori di allungamento percentuale delle fibre nelle ascisse ed il valore del carico applicato per allungarle nelle ordinate.

La curva carico - allungamento tipica delle fibre di lana ha generalmente queste caratteristiche:

- un primo tratto di curva, dove sotto carichi modesti viene eliminata l'arricciatura della fibra.
- un tratto di deformazione elastica dove l'allungamento è proporzionale al carico applicato ed al cessare del carico la fibra ritorna alla sua lunghezza originaria. Si può osservare in questo tratto il punto di snervamento, da questo punto la fibra assume una deformazione permanente (inizia la deformazione plastica).
- un tratto finale caratterizzato da forti allungamenti a seguito di piccole sollecitazioni, fino ad arrivare al punto, chiamato di rottura, dove la fibra si rompe.

In corrispondenza del punto di rottura può essere misurata la tenacità della fibra, che non è altro che il carico massimo sopportato dalla fibra prima della rottura e l'allungamento a rottura che rappresenta l'allungamento massimo ottenuto prima della rottura.

Come già specificato, al variare delle condizioni della fibra e delle condizioni in cui viene fatta la prova, ci saranno variazioni e modifiche nei comportamenti delle fibre.

La lana è una delle fibre tessili meno tenace, infatti i suoi valori sono bassi, ma risulta la fibra naturale più elastica e tra le fibre, in generale, i suoi valori di elasticità sono inferiori solo a fibre tecniche specificamente pensate per avere un

elevata elasticità.

Con elasticità si intende la capacità di una fibra di ritornare alla sua dimensione originale dopo che viene cessata un'azione di deformazione. La grandezza con cui viene valutata l'elasticità è il recupero elastico che indica la percentuale di deformazione che una fibra riesce a recuperare al cessare della deformazione.

Le fibre cheratiniche hanno una notevole elasticità, infatti, in condizioni favorevoli, tenderanno a ritornare alla dimensione originale anche a seguito di un'estensione prossima al punto di rottura.

L'ottima ripresa elastica è riscontrata non solo in deformazioni di trazione, ma anche in compressione e torsione. La resilienza (intesa come la capacità di un materiale di riprendere la propria forma dopo compressione) della lana risulta ottima, come molto buone sono la ripresa da torsione e la resistenza torsionale.

Le caratteristiche meccaniche strutturali delle fibre di lana, influenzano direttamente i prodotti lanieri presenti sul mercato anche se per ottenere un manufatto dalle buone proprietà meccaniche, sono sempre fondamentali la metodologia di realizzazione e la conformazione del manufatto (densità, metodi di lavorazione ecc...).

### Proprietà igroscopiche

Si può iniziare a parlare di proprietà igroscopiche della lana partendo dall'igroscopicità ovvero la capacità di un materiale (in questo caso una fibra) di assorbire o cedere molecole d'acqua (contenute sotto forma di umidità) dall'ambiente circostante, fino al raggiungimento di uno stato di equilibrio. Questa proprietà è connessa alla struttura, alla composizione chimica della fibra ed alle condizioni ambientali (temperatura e

tasso d'umidità) a cui è esposta.

La lana è una delle fibre più igroscopiche, grazie alla sua struttura porosa è in grado di assorbire umidità dall'atmosfera umida (fino al 35% di acqua rispetto al suo peso) e rilasciarla quando è in ambiente secco, in rapporto alle condizioni ambientali in cui si trova. Questo influisce, in maniera più o meno sensibile su molti suoi caratteri, tra cui il peso e le proprietà fisiche. È stato necessario dunque, stabilire in passato condizioni di riferimento da utilizzare per le transazioni commerciali e per le prove fisiche.

Due nozioni importanti sono da introdurre:

- contenuto di umidità (C) inteso come il contenuto percentuale di acqua riferito al peso di un campione di lana contenente umidità;
- ripresa di umidità (o tasso di ripresa) (R) intesa come il contenuto percentuale di acqua riferito al peso di un campione di lana secca.

Quando si parla di transazioni commerciali della lana è necessario utilizzare valori di umidità standard percentuali contenuti nella lana, riferendosi a tassi di ripresa (tassi commerciali di ripresa), fissati dalla Federazione Laniera Internazionale (IWTO).

Come conseguenza all'assorbimento di umidità della lana risulta esserci un rigonfiamento della fibra sia in diametro che in lunghezza. Questo fenomeno è reversibile e fortemente *anisotropo*<sup>19</sup>, infatti l'incremento del diametro è mediamente intorno al 15% mentre quello in lunghezza non supera l'1%.

Manufatti di lana si comportano molto bene quando si parla dal punto di vista della

.....

<sup>19</sup> L'anisotropia (contrario di isotropia) è la proprietà per la quale un corpo, rispetto ad un determinato fenomeno fisico, presenta caratteristiche diverse in base alla direzione considerata.

#### 4. Residui agricoli da allevamento

traspirabilità, infatti la lana è un materiale traspirante, e molti suoi prodotti garantiscono coefficiente di resistenza al passaggio del vapore ( $\mu$ ) che non superano il valore di 2.

#### **Proprietà elettriche e disinquinanti**

Quando si parla di proprietà elettriche della lana bisogna tenere presente che queste variano in base all'umidità contenuta all'interno delle fibre; ciò è riscontrabile nei due parametri elettrici principali della categoria, che sono la conduttività (o conducibilità) elettrica e l'accumulo di elettricità statica.

Con conduttività si intende l'attitudine del materiale al passaggio di corrente elettrica. Fibre secche di lana si oppongono al passaggio della corrente elettrica e vengono considerate quindi elettricamente resistenti, viceversa fibre umide acquisiscono conduttività diventando elettricamente conduttrici.

La presenza di umidità all'interno della fibra e quindi la capacità di condurre o resistere alla corrente elettrica influenzano direttamente anche l'accumulo di elettricità statica, intesa come l'accumulo di cariche elettriche su di un corpo.

Genericamente le fibre tessili sono cattivi conduttori e quindi sono soggette ad accumulo di elettricità statica, provocando, all'atto pratico, difficoltà di lavorazione e facilità di sporcamento dei manufatti. La lana in realtà, come già spiegato, è una fibra che assorbe molta umidità e solo quando è secca può dare i problemi relativi all'elettricità statica.

Argomento interessante per futuri studi è sicuramente la proprietà disinquinante della lana. Secondo alcune nuove sperimentazioni effettuate in laboratorio, le fibre di lana grazie alla ricchezza di cheratina, sono in grado

di assimilare a sé e neutralizzare sostanze inquinanti e dannose presenti all'interno dell'aria. Gas inquinanti, polveri sottili ed altre sostanze, si legano alla cheratina della fibra la quale è in grado di esaurirle ed eliminarle.

Questa caratteristica, può aprire sbocchi interessanti di utilizzo delle lane e sicuramente ha un risvolto positivo sull'uso edilizio di questa fibra.

#### **Comportamento all'acqua**

Nonostante la capacità di assorbire umidità molto facilmente, le fibre di lana non trattate possono essere considerate idrorepellenti, ovvero difficilmente bagnabili dall'acqua pura non riscaldata.

La repellenza non dipende semplicemente dalla natura e dalla struttura chimica della lana, anzi è principalmente funzione della geometria del manufatto e delle relazioni che questo instaura con la soluzione acquosa (tensione superficiale tra acqua e materiale). È noto come la resistenza alla penetrazione dell'acqua sia favorita quando un manufatto presenta le caratteristiche di bassa densità ed uniformità di distribuzione dei pori (ne è un esempio il feltro di lana).

Esistono trattamenti chimici che aumentano notevolmente l'*imbibibilità*<sup>20</sup> della fibra di lana e dei suoi prodotti.

Un problema di resistenza si può riscontrare quando vi è l'azione dell'acqua calda su fibre di lana immerse; essa infatti provoca un rigonfiamento della sezione, variabile tra il 10% ed il 20% rispetto ad una condizione di

.....  
<sup>20</sup> Con *imbibibilità* (o *imbibizione*) si intende la capacità di assorbimento, da parte di un materiale solido di un liquido (per esempio l'acqua), senza che tra essi avvengano reazioni chimiche. Dunque è un processo fisico e non chimico.

normalità.

Si consideri che l'acqua causa un indebolimento strutturale (talvolta irreversibile) ed un cambiamento delle proprietà delle fibre, proporzionale al tempo ed alla temperatura a cui vengono esposte. Trattamenti idrotermici effettuati ad una temperatura tra i 100 °C ed i 140 °C producono cambiamenti in alcune delle proprietà (principalmente quelle tensili) della fibra ed una contrazione della sua lunghezza. Temperature superiori a 140°C producono degradazione ed indebolimenti irreversibili sulla lana. Il primo segno visibile di danneggiamento della lana dovuto ad azione idrotermica è l'ingiallimento, seguito da un successivo imbrunimento.

### Comportamento al fuoco

I peli lanosi presentano un'ottima reazione alla fiamma, non prendono fuoco facilmente, bruciando solo in presenza di esposizione alla fiamma senza fondere e senza gocciolare. Allontanando la sorgente focolare dalla fibra la fiamma infatti si estingue, la lana smette di bruciare, lasciando un residuo di colore nero carbonioso, friabile e facilmente rimovibile. Caratteristico è l'odore emesso dalla combustione, simile a quello di pelo bruciato, dovuto dalla presenza dell'azoto nella struttura chimica della cheratina. I prodotti lanieri risultano ottimi per la resistenza al fuoco e migliorano per manufatti molto densi, qualora venga prevista la diminuzione della presenza di ossigeno tra le fibre.

### Resistenza alle intemperie, agli agenti chimici e biologici

La lana può subire col tempo una degradazione attraverso processi naturali molto lenti, in

condizioni di stabilità la durabilità è elevata mentre agenti esterni possono influire accelerando o diminuendo la velocità di questo ciclo di degradazione naturale.

Fondamentale in questa analisi è il comportamento della lana rispetto a soluzioni acide o basiche, ma per capire meglio l'argomento bisogna prima introdurre alcuni concetti essenziali.

La struttura cheratinica della lana, permette la sua reazione con molte sostanze e prodotti chimici. La reattività della lana dipende principalmente dalla presenza della cistina, facilmente reagente assieme agli altri amminoacidi, a varie classi di sostanze.

La cistina a condiziona la chimica della lana, a causa dell'alta presenza interna in contenuto percentuale di atomi di zolfo.

Tutti gli amminoacidi e di conseguenza le cheratine della lana, contengono al loro interno sia gruppi acidi (gruppi carbossilici - COOH) che basici (gruppi amminici - NH<sub>2</sub>), il che permette la reazione della lana sia agli acidi che alle basi. Per questa caratteristica la lana viene definita anfotera.

Le caratteristiche di questi gruppi fanno in modo che la cheratina immersa in soluzione possa assumere cariche elettriche positive o negative (ionizzazione). In presenza di semplice soluzione acquosa le fibre, per una serie di reazioni, si caricano negativamente. Al variare del *pH della soluzione*<sup>21</sup> il numero di cariche positive del gruppo basico e quelle negative del gruppo acido cambiano creando instabilità e degradazione alla fibra.

<sup>21</sup> Il pH in chimica è la grandezza che misura l'acidità o la basicità di una soluzione. La soluzione risulta acida per pH inferiori a 7 (pH da 0 a 7), neutra per pH uguali a 7 e basica per pH superiori a 7 (pH da 7 a 14).

#### 4. Residui agricoli da allevamento

Esiste però un valore di pH della soluzione dove il numero di gruppi acidi e quelli basici è lo stesso e dove la lana raggiunge uno "stato isoelettrico" ovvero neutro e di massima stabilità chimica. Il pH isoelettrico della lana è compreso tra pH 4,7 e 4,9 e quindi ricade in ambiente acido.

Risulta azzardato tuttavia considerare in generale la lana poco sensibile a tutti gli acidi, poiché acidi concentrati che presentano un pH che si allontana da quello isoelettrico, possono causare danni molto seri alle lane, danni che si fanno più marcati se la soluzione acida si trova ad elevate temperature ed è applicata per tempi elevati.

Temperatura, tempo di contatto, pH e concentrazione del bagno risultano determinanti anche quando si parla di soluzioni basiche o alcaline. La lana infatti generalmente è attaccata e molto danneggiata dalle basi e la reattività è direttamente proporzionale alla temperatura, alla durata dell'operazione ed alla distanza del pH della soluzione da quello isoelettrico.

Da non trascurare in questo paragrafo è l'analisi con il deterioramento da agenti atmosferici, il quale viene descritto come il comportamento della lana rispetto all'esposizione con *radiazioni solari*<sup>22</sup> e con le intemperie (acqua e aria). L'esposizione agli agenti atmosferici della fibra, in generale, crea alterazione ed indebolimenti della struttura cheratinica sia in fase di crescita sia durante l'uso, comportando cambiamenti di colore (sbiancamento o ingiallimento), perdite di resistenza alla trazione, all'abrasione e di tenacità.

Le fibre di origine naturale, soffrono gli attacchi dei microrganismi come muffe o batteri, risentendo anche dell'attacco di piccoli insetti

come le tarme o gli scarabei.

Nonostante la lana sia tra le fibre naturali più resistenti all'attacco di muffe e batteri, essa è a contatto con microrganismi durante tutto il suo ciclo di vita di lavorazione e di conservazione. Laddove dunque si presentino condizioni favorevoli (calore, umidità, bassa ventilazione e alcalinità dell'ambiente), può succedere che le fibre vengano attaccate e successivamente deteriorate anche rapidamente. L'attacco batterico verso i peli lanosi, può far riscontrare formazione di cattivi odori, variazioni di colore, indebolimento e perdita di resistenza.

L'azione delle tarme e degli scarabei si presenta soprattutto nelle fibre naturali di origine animale quando gli insetti sono allo stadio larvale. Le larve danneggiano le lane nutrendosi delle proteine e crescono in maniera ottimale in ambienti scuri, con temperature medio-alte ed un'umidità che si aggira intorno al 15%.

Conservare un manufatto laniero in ambienti dai parametri controllati, risulta quindi fondamentale per la sua durata nel tempo, nonostante sul mercato esistano trattamenti (prevalentemente chimici) biocidi ed antitarmici applicati alle lane che li aiutano a preservarsi anche in condizioni sfavorevoli.

Il deterioramento e la decomposizione biologica di strutture organiche è un processo naturale, ed in quanto tale, sono da valutare

.....

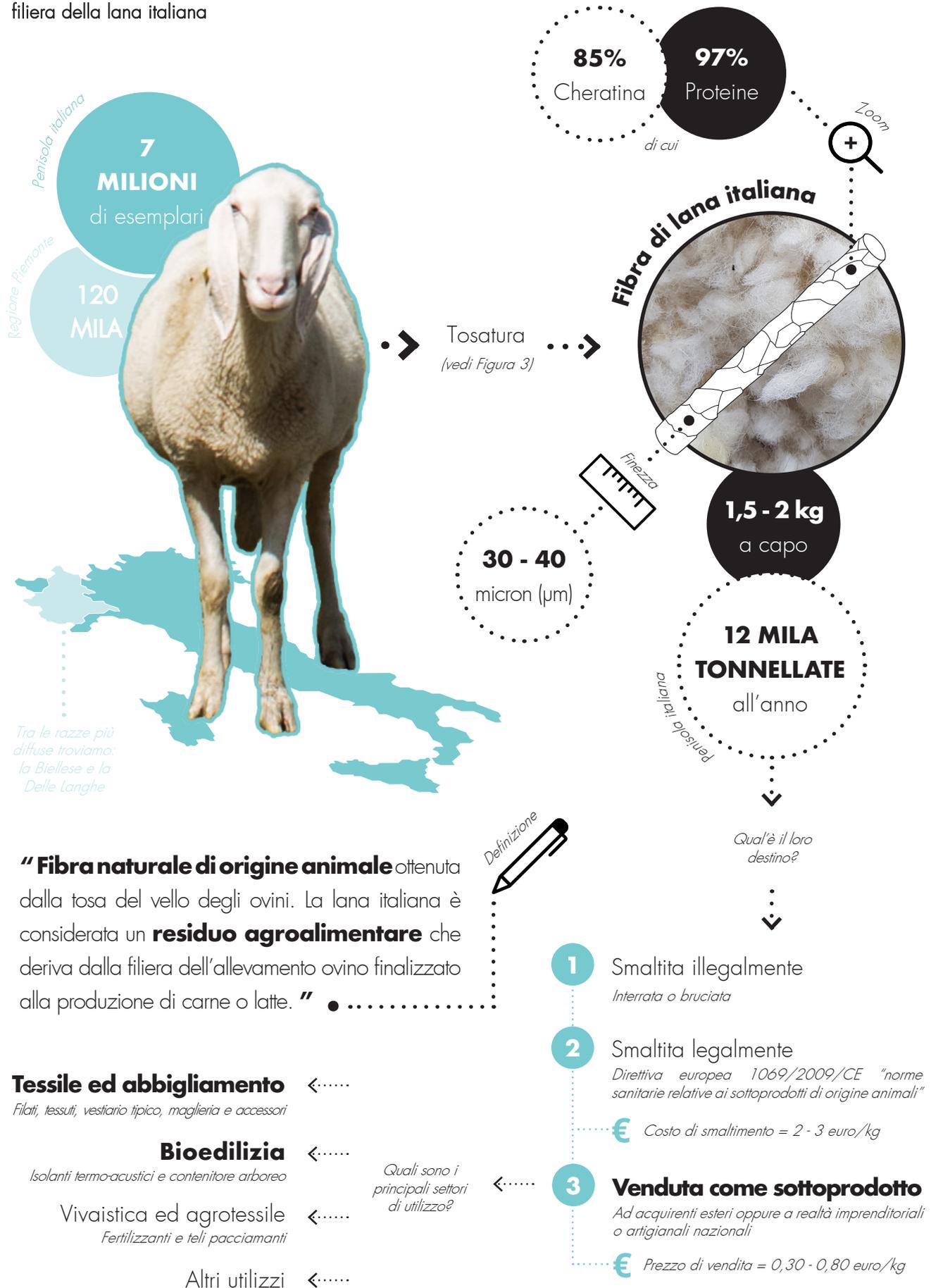
<sup>22</sup> La radiazione solare, è l'energia che viene emessa dal sole. Esso produce radiazioni elettromagnetiche che si propagano a varie frequenze o lunghezze d'onda, presentando caratteristiche differenti e distinguendosi in:

- radiazioni visibili, che sono di fatto le uniche percepite dall'occhio umano, sotto forma di luce (lunghezze d'onda tra i 400 ed i 700 nm)

- radiazioni non visibili costituite da raggi infrarossi e da raggi ultravioletti (UV), questi ultimi dotati di maggiore energia e quindi più dannosi e penetranti per gli organismi viventi (lunghezze d'onda maggiori o minori rispetto al visibile).

L'insieme di tutte le radiazioni elettromagnetiche è racchiuso nello spettro elettromagnetico.

**Grafico 1** - Grafico riassuntivo della filiera della lana italiana



#### 4. Residui agricoli da allevamento

quegli eventuali trattamenti sulle fibre che lo compromettono.

#### Feltratura e sporcamiento

Quando si parla di feltratura della lana ci si riferisce alla capacità che le fibre di lana hanno, in particolari condizioni ambientali, di serrarsi ed aderire tra loro formando un manufatto dalla struttura irreversibilmente compatta e molto resistente (feltro).

Alla base della feltratura ci sono le particolari proprietà di frizione (o attrito, o sfregamento) delle fibre cheratiniche, strettamente connesse ed influenzate dalla presenza delle scaglie cuticolari che le ricoprono. Esse, infatti, agiscono come piccoli arpioni (o denti di arresto) rispetto ad un'azione frizionale e di compressione.

Il processo di feltratura è strettamente dipendente dai fenomeni esterni in cui viene eseguito come l'umidità, il pH, la temperatura, le pressioni utilizzate e la durata delle operazioni. Risulta infatti necessario, per feltrare le fibre di lana, che sia immersa in un bagno acquoso, a determinate temperature e sotto azione meccanica. Di fatto, si può affermare che la feltratura della lana non si verifica in condizioni normali di esposizione all'aria.

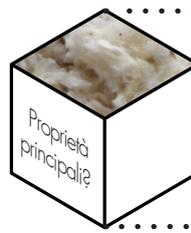
Lo sporcamiento delle fibre tessili è un parametro difficile da determinare ed è legato alla combinazione di diversi fattori come: tipo di fibra, finezza, struttura chimica, trattamenti subiti, condizioni ambientali, tipo di sporczia ed accumulo di elettricità statica sulla fibra (valore fondamentale, in quanto una fibra carica elettrostaticamente è in grado di accumulare più polvere e sporco).

Le particelle di sporco possono essere trattenute dalle fibre secondo tre tipi di meccanismi:

- per inglobamento negli interstizi tra le varie fibre;
- per intrappolamento nelle superfici (nel caso della lana a scaglie);
- per assorbimento fisico dello sporco della fibra.

Esistono diversi trattamenti applicabili sulla lana per aumentarne la resistenza allo sporcamiento, nonostante venga considerata tra le fibre naturali ad ottima resistenza all'accumulo di sporco e polveri.

#### Grafico 2 - Le proprietà principali della lana italiana



- *Elevata densità*
- *Buone proprietà meccaniche*
- *Fortemente igroscopica*
- *Ottimo comportamento al fuoco*
- *Attaccato da soluzioni alcaline*
- *Soggetta a feltratura*

# **RESIDUI AGRICOLI DA COLTIVAZIONE**

la paglia di riso e  
il trinciato di mais

# 5



Figura 1 - La paglia di riso



**Figura 2** - Il trinciato di mais

## 5. Residui agricoli da coltivazione

Vengono successivamente analizzate le filiere produttive agroalimentari del riso e del mais, con un focus dettagliato sulle relative materie prime, la paglia di riso ed il trinciato di mais, utilizzate per la realizzazione dei pannelli isolanti sperimentati della ricerca.

Vedremo nel corso del capitolo come la denominazione di residuo agricolo da coltivazione è corretta quando si parla di paglia di riso, mentre per il trinciato di mais (o silomais o mais ceroso) questa qualificazione non risulti del tutto esatta.

Si ritiene opportuno inoltre data l'appartenenza di entrambe le colture alla sfera cerealicola, un iniziale indagine sul mondo della coltivazione del cereale.

### 5.1 LA COLTURA CEREALICOLA

Quando si parla di coltura cerealicola (o cerealicoltura) si intende *l'attività agricola che ha come fine la coltivazione delle piante da cereali*, ovvero piante erbacee generalmente appartenenti alla famiglia delle Graminacee, le quali producono semi o chicchi (in gergo tecnico chiamati cariossidi) commestibili, utilizzati per l'alimentazione dell'uomo e degli animali. Tra le più importanti specie cereali troviamo il grano (o frumento), il riso, il mais (o granoturco), l'orzo, l'avena e la segale.

I buoni livelli nutrizionali, il numero elevato di prodotti per l'alimentazione ottenibili, le tante varietà e la buona adattabilità di alcune colture fanno della cerealicoltura l'attività agricola vegetale più diffusa al mondo.

Due sono i grandi *filoni in cui la coltivazione cerealicola*<sup>1</sup> si suddivide: quello per l'ottenimento di granella e quello per ottenere prodotti trinciati da foraggio o biomassa energetica.

La maggior parte dei cereali è coltivata

esclusivamente per la cariosside, soltanto alcune specie, come il mais e l'orzo, sono a duplice destinazione; quello che cambia oltre alle varietà lavorate, non è il metodo di coltivazione adottato (pressoché simile) in una tipologia piuttosto che nell'altra, ma il metodo di raccolta che viene effettuato (e talvolta la tempistica del ciclo in campo).

Nella penisola italiana i dati attestano, secondo le rilevazioni dell'ISTAT (aggiornate al 2019), una produzione di granella cereale intorno ai 16.350.000 tonnellate (con 3.050.000 ettari coltivati) andando ad occupare un peso pari al 31% della produzione agricola vegetale nazionale, mentre i cereali da foraggio o biomassa sempre secondo la stessa fonte sono circa il 37% della produzione agricola vegetale nazionale con circa 19.700.000 tonnellate di prodotto (con 430.000 ettari coltivati).

La suddivisione territoriale di granella vede un'estensione prevalente nel Nord del paese, che con circa 10.550.000 tonnellate copre il 65% della produzione italiana, seguito dal Mezzogiorno con circa 3.700.000 tonnellate ed il 23% del totale ed il restante 12% concentrato nel Centro dello stivale con circa 2.100.000 tonnellate.

La Regione Piemonte è tra i territori dove si concentra la maggiore produzione dal punto di vista dei chicchi di cereale, immettendo sul mercato più del 17% della produzione nazionale con dei numeri che nel 2019 si attestano intorno ai 2.850.000 tonnellate.

Il quadro distributivo è simile anche per la

.....  
<sup>1</sup> Il primo tipo di coltura viene fatto coltivando la pianta con l'obiettivo di ottenere come prodotto la cariosside (o chicco), la quale solitamente è l'unica parte che viene raccolta. La coltivazione del cereale per foraggio o biomassa invece prevede l'ottenimento di un prodotto trinciato costituito dall'intera pianta la quale viene raccolta interamente in loco sul campo.

coltura da foraggio e biomassa, con il Nord Italia che cuba l'82% della produzione italiana con 16.200.000 tonnellate, il Sud che si attesta all'11% con 2.150.000 tonnellate ed il Centro con una fetta del 7% corrispondente a circa 1.350.000 tonnellate di prodotto agricolo.

Il Piemonte in questo caso perde una parte di peso a livello nazionale e con 1.050.000 tonnellate occupa circa il 5,5% della produzione peninsulare annua del 2019.

È importante a questo punto capire, dopo aver visto quali sono i quantitativi generali di materia prima in Italia nell'ambito delle granaglie, quali sono le principali varietà di colture cerealicole diffuse in Italia e successivamente nell'area piemontese. Questo approfondimento permette di arrivare ad analizzare le due filiere che più ci interessano (risicola e maidicola) consapevoli dei pesi in gioco esistenti.

Della totalità di chicchi di cereali italiani coltivati nel 2019, i dati scientifici forniti dall'ISTAT ci indicano che la coltura del frumento ricopre , con circa 6.700.000 di tonnellate, il 41% della produzione (1.750.000 ettari), seguita dal mais con un ammontare che sfiora i 6.400.000 di tonnellate e dunque il 39% nazionale (630.000 ettari) e dal riso che si attesta al 9% con la raccolta di circa 1.475.000 tonnellate di materia prima (220.000 ettari). Il restante 11% è ricoperto dalle altre specie culturali minori.

In Piemonte i dati colturali che ci vengono forniti ci indicano come principale cereale coltivato il mais con circa 1.550.000 tonnellate (140.000 ettari), seguito dal riso con circa 800.000 tonnellate (110.000 ettari) e dal frumento che si attesta in circa 400.000 tonnellate (70.000 ettari).

L'eterogeneità dei cereali da granuli non si riscontra nei cereali da foraggio o biomassa,

infatti i dati ISTAT 2019 ci forniscono un'indicazione molto precisa, cioè che, in Italia, per questo settore, viene quasi esclusivamente utilizzata la coltura maidicola. È infatti del 95% la percentuale di produzione di mais coltivato per foraggio o biomassa equivalente a circa 18.700.000 tonnellate di trinciato di mais (365.000 ettari). Il restante 5% produttivo è legato a colture d'orzo.

Il Piemonte con 1.000.000 di tonnellate di trinciato di mais (21.000 ettari) a discapito delle sole 50.000 tonnellate di orzo ceroso, riflette il dato nazionale.

## 5.2 LA FILIERA DEL RISO

Con la filiera risicola si definiscono *l'insieme di risorse, operazioni ed attività che servono per la coltivazione, trasformazione e distribuzione del riso*.

Il riso è un alimento, costituito dal cereale derivante dalla lavorazione di piante erbacee della famiglia delle graminacee (del tipo *Oryzae*, specie *Oryza*).

Originario del sud-est asiatico, dove è coltivato e molto diffuso fin dai tempi antichi, il riso grazie al suo processo evolutivo che ne ha permesso l'adattamento a condizioni ambientali molto diversificate, oggi è coltivato in quasi tutto il globo (oltre 100 paesi) e risulta essere (assieme al frumento ed al mais) tra i cereali più consumati al mondo (sicuramente il più impiegato per l'alimentazione umana) oltre che base alimentare per *circa la metà della popolazione*<sup>2</sup> terrestre. I dati mondiali ufficiali sulla produzione di questa granella forniti dal FAO (Food and Agriculture Organization of

<sup>2</sup> Le stime ufficiali redatte dal FAO confermano che al mondo ci sia un consumo medio annuo di riso per persona superiore a 50 kg.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

the United Nations) lo confermano, con oltre 780.000.000 di tonnellate di riso grezzo (o risone), distribuite principalmente tra i paesi asiatici (leader in questo settore) come Cina, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Thailandia e Birmania che da soli coprono circa il 95% del fabbisogno.

Oltre al principale centro asiatico, il riso ha importanza rilevante anche in altre realtà come ad esempio in Sud America con il Brasile, in Egitto per l’Africa, negli USA per il Nord America ed in Italia se si fa riferimento all’Europa. Infatti quest’ultima con circa il 37% della produzione continentale è il primo produttore di riso in Europa e concentra la quasi totalità della sua produzione nelle regioni del Piemonte e Lombardia all’interno delle province di Vercelli, Novara e Pavia ed in maniera minore anche Biella, Alessandria e Milano.

### 5.2.1 Coltivazione del riso

La coltura risicola è annuale e generalmente il cereale viene coltivato in *monocoltura*<sup>3</sup>. Il riso impiega solitamente 5 - 6 mesi, sfruttando le stagioni primaverili ed estive, per compiere il suo processo produttivo che va dalla germinazione del seme alla maturazione del frutto.

La coltivazione del riso richiede requisiti ambientali stabili e favorevoli per la crescita, i quali tendenzialmente si evidenziano in temperature medio-alte lungo l’intero ciclo vita (superiori ai 10/12 °C durante la fase di germinazione ed intorno ai 25 °C in fioritura) ed escursioni termiche molto limitate, condizioni che spesso non sono soddisfatte nei luoghi in

.....

<sup>3</sup> Con *monocoltura* si intende una tecnica agricola che adibisce un’area o una porzione di terreno sempre esclusivamente ad un solo esemplare vegetale.



**Figura 3** - La coltivazione del riso  
(Fotografia di RiceHouse)

cui viene coltivato, come nel caso della realtà italiana.

Per ovviare alle condizioni problematiche che influenzerebbero negativamente l'esito della coltura, il riso viene coltivato generalmente attraverso *tecniche di immersione idrica*<sup>4</sup>. L'acqua gioca un ruolo fondamentale, infatti oltre a soddisfare il fabbisogno idrico naturale per il processo di crescita della pianta (necessario in ogni coltura vegetale), tende a rendere stabile la temperatura del terreno e dell'aria in cui il riso è coltivato, smorzando di fatto le oscillazioni termiche e fungendo così da stabilizzatore termico.

Oltre all'acqua ed alla temperatura esistono altri fattori ambientali che condizionano il successo della coltura del riso, come la natura del suolo e la radiazione solare incidente sulla pianta lungo tutto il ciclo colturale.

Il riso viene coltivato in tipologie di terreno molto varie e differenti, ma sicuramente, vengono preferiti sottofondi argillosi (come quelli vercellesi) in grado di far ristagnare l'acqua piuttosto che suoli drenanti ed alluvionali che ne causano il suo fluire richiedendo maggiori quantitativi idrici per mantenere la sommersione. È possibile suddividere il ciclo di crescita del riso, ma in generale di molti cereali, in modo convenzionale, in due fasi principali: la fase vegetativa, dove si producono le porzioni vegetali (come le radici, il fusto, le foglie e le gemme) e la fase riproduttiva, dove si formano e maturano le pannocchie con i chicchi di risone. Senza entrare nel dettaglio delle singole lavorazioni, si cita in seguito il ciclo ordinario di operazioni antropologiche lungo tutta la coltura:

- *operazioni da coltivazione*: aratura (fine inverno), concimazione, erpicatura e

livellamento, sommersione idrica, diserbo, asciutta, semina (tra marzo e maggio), gestione idrica, trebbiatura (tra settembre e ottobre);

- *operazioni post - coltivazione*: essiccazione, stoccaggio, lavorazione del risone, gestione dei residui in campo.

### 5.2.2 Morfologia della pianta

La morfologia della pianta di riso è caratterizzata dalla suddivisione nelle seguenti unità:

- *apparato radicale*, è la parte interrata della pianta la quale svolge principalmente la funzione di sostegno strutturale, resistenza meccanica e di assorbimento dell'acqua e dei nutrienti presenti nel sottofondo. È un sistema complesso di radici che si sviluppa crescentemente in profondità ed in larghezza sul terreno a pari passo con la crescita della pianta, in base alle caratteristiche genetiche del vegetale ed alla natura del sottofondo;

- *fusto (o culmo)*, il quale si inizia a formare qualche giorno dopo la semina ed è caratterizzato da una successione di nodi circolari pieni, distanziati da internodi cavi a sezione cilindrica (detti lumi o canali). Gli internodi variano in numero (tra i 10 e i 20) ed in lunghezza (da qualche millimetro fino a 20 centimetri) in base alla varietà della pianta ed ai valori nutrizionali del terreno, influenzando sull'altezza totale del vegetale (che solitamente varia tra gli 80 e i 120 centimetri). L'ultimo internodo contiene l'inflorescenza ed è l'unico

<sup>4</sup> L'abbondante disponibilità d'acqua è fondamentale nella produttività del riso; esso viene coltivato sommerso in una coltre idrica che ha un'altezza variabile tra i 5 e i 15 centimetri e la quale nella maggior parte dei casi è controllata e regimata a seconda dello sviluppo della pianta. Si calcola che i volumi di acqua in una stagione produttiva possano variare in base al tipo di terreno tra i 17.000 e i 43.000 m<sup>3</sup>/ha. Il consumo di acqua può essere limitato attraverso nuovi sistemi di coltivazione come quello "in asciutto" caratterizzato da una limitazione della sommersione delle piante durante la loro crescita.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

che presenta caratteristiche dissimili dagli altri;

- *foglie*, disposte in modo alterno lungo il fusto in un numero uguale al numero degli internodi. Hanno generalmente una larghezza di un paio di centimetri e si inseriscono sui nodi per poi svilupparsi con forma arcuata in maniera distaccata dal fusto per una lunghezza che può raggiungere i 50 centimetri;

- *inflorescenza (o pannocchia)*, che rappresenta la parte terminale della pianta ed è quindi l'apice del culmo. Comunemente viene chiamata spiga ed è creata dall'insieme più o meno denso dei semi di riso grezzo;

- *seme (o riso grezzo, o risone, o granella)*, ovvero il frutto della pianta, il quale è una cariosside costituita dall'insieme di un frutto duro secco (70% del peso), un rivestimento protettivo rigido esterno (20% del peso) chiuso a guscio sul frutto (lolla o glumella) ed un sottile velo embrionale (10% del peso) tra essi interposto (pula). La lolla e la pula verranno eliminate nel processo produttivo col fine di ottenere una cariosside decorticata, ovvero il chicco di riso commestibile. All'interno del chicco di riso è presente l'embrione, utile per dare vita a nuove piante qualora la granella venga utilizzata per la semenza successiva.

### 5.2.3 Sottoprodotti da risicoltura

La risicoltura causa buone quantità di residui agroalimentari lungo la filiera, più o meno interessanti circa il riutilizzo in altri processi industriali. Gli scarti ottenuti rispecchiano la distinzione comune dei residui agricoli e sono individuabili in due categorie:

- *residui da coltivazione del riso*, prodotti "in campo" e connessi alla coltivazione del cereale; sono ottenuti nella fase finale di raccolta della materia prima con le operazioni di trebbiatura la quale raccogliendo il risone e tagliando la pianta

ad un'altezza di circa 20 centimetri genera due tipi di scarti: le stoppie e la paglia di riso.

Le stoppie sono la parte che rimane ancorata al terreno comprendenti le radici e la parte iniziale del fusto e di fatto non se ne prevede la raccolta, ma sono lasciate come sottofondo vegetativo e nutritivo per la coltura dell'anno successivo o al peggio bruciate. La quantificazione di questo residuo è molto ardua.

La paglia di riso di fatto rappresenta la parte superiore del culmo spogliata delle pannocchie e viene analizzata in maniera approfondita nel paragrafo successivo;

- *residui da lavorazione del risone*, originati dalla trasformazione del risone in alimento commestibile con le operazioni successive all'essiccatoio. Sono lavorazioni meccaniche che permettono di pulire i chicchi di risone rimuovendo gli strati superficiali esterni non commestibili, i quali diventano residui. Otteniamo in questo caso come scarti la lolla, con una quantità stimata intorno a 20 quintali su ettaro coltivato (circa 0,3 kg su ogni kg di riso raffinato) e la pula di riso, calcolata in 10 quintali su ettaro coltivato (circa 0,15 kg su ogni kg di riso raffinato).

La lolla (buccia del riso) si ricava dalla sbramatura del risone e presenta alcuni interessanti utilizzi in bioedilizia e nella termovalorizzazione, mentre la pula la si ottiene dalla sbiancatura del seme duro sotto forma farinosa e viene usata come alimentazione del bestiame, in farmaceutica e cosmesi.

## 5.3 LA PAGLIA DI RISO

La paglia di riso è un residuo agricolo da coltivazione, ottenuto direttamente sul terreno coltivato lungo la filiera del riso.

La paglia in generale è un residuo di produzione



**Figura 3** - La trebbiatura del riso  
(Fotografia da RiceHouse)

.....

della maggior parte dei cereali (frumento, orzo, avena, riso, segale, miglio, lino, canapa) e viene definita tecnicamente come *la porzione maggioritaria del culmo del cereale spogliata di inflorescenza e della granella, ottenuta mediante l'operazione di trebbiatura a seguito della completa maturazione ed essiccazione della pianta*. La paglia di riso principalmente è composta quindi per la maggior parte dal culmo, assieme alle foglie ed ai residui di granella che rimangono attaccati ad essa. Per la realizzazione dei pannelli *AGROTESs* è stata utilizzata paglia di riso della varietà di riso *Mare*, fornita dall'azienda RiceHouse srl.

### 5.3.1 Struttura e composizione chimica

La paglia si presenta come un residuo secco caratterizzato da una successione di nodi circolari pieni distanziati da internodi cavi a sezione cilindrica.

Gli internodi ne compongono la parte maggioritaria e sono composti da un canale

interno, che contiene aria ed occupa circa il 90% del volume, ed una corteccia fibrosa rigida esterna che occupa il restante 10% del volume, composta da materia organica secca formata in quantità diverse da cellulosa, emicellulosa, lignina e *composti inorganici*<sup>5</sup>. Le percentuali di aria e massa secca come la composizione di quest'ultima variano in base al cereale da cui proviene la paglia ed anche all'interno dello stesso tipo di coltura ci sono diverse varietà, tipologie e condizioni climatiche di coltivazione le quali comportano varianti compositive.

È comprovato come la paglia di riso sia differente rispetto a tutte le altre paglie cerealicole, presentando peculiarità sia dal punto di vista strutturale che dal punto di vista chimico.

Strutturalmente è stato analizzato come la paglia di riso possieda una corteccia rigida di maggior spessore e voluminosità rispetto alle paglie degli altri cereali, grazie al quale gli viene conferita una maggiore resistenza meccanica.

È rilevante chimicamente come la paglia di riso, rispetto alle simili, riscontri valori molto maggiori di umidità interna e (più del doppio) di materia inorganica (o ceneri) la quale a volte arriva ad occupare il 20% della massa secca. Ad influire più di tutti su questo dato è soprattutto l'elevato e prevalente contenuto di silice ( $\text{SiO}_2$ ) presente in circa 130.000 mg/kg di materiale.

### 5.3.2 Il destino della paglia di riso

La paglia di riso rappresenta il maggior residuo

.....

<sup>5</sup> I composti inorganici contenuti nelle paglie vengono chiamati spesso ceneri ed al loro interno troviamo silice, idrossido di potassio, ossido di calcio, magnesio ossido ed altri minerali.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

della coltivazione del riso; viene quantificata in circa 50 quintali su ettaro coltivato, che se ragionato in rapporto col peso di riso raffinato prodotto si traduce in circa 0,7 kg su ogni kg di prodotto finito.

Le proporzioni delle quantità possono subire variazioni in base alla tipologia di terreno, alla varietà del riso, all'altezza della trebbiatura, a fattori climatici ed al contenuto di umidità della paglia; si può arrivare fino a circa 1,4 kg di paglia su ogni kg di riso raffinato.

Facendo un rapido calcolo, in base ai dati precedentemente forniti, la disponibilità di paglia di riso sul suolo italiano supera 1.000.000 di tonnellate annue, più della metà collocata nella regione piemontese (con circa 550.000 tonnellate di residuo erbaceo). Nonostante sia necessario tener conto che la presenza elevata di silice ostacola molti *usi tradizionali delle paglie*<sup>6</sup>, come l'alimentazione animale e l'utilizzo in impianti di biomassa, la quantità ingente di questo residuo rinnovabile ottenuta dall'agricoltore può prendere diverse strade a seguito dell'*essiccazione*<sup>7</sup>, come:

- *essere smaltita* tramite bruciatura in campo, causando emissioni molto dannose; questo per evitare eventuali costi logistici, di stoccaggio e successivi di smaltimento. C'è da considerare che difficilmente viene smaltita come rifiuto speciale, in tal caso deve essere fatto assegnando il codice CER "02.01.03 scarti di tessuti vegetali";

- *essere riutilizzata per le normali pratiche agricole*, lasciata in campo e successivamente interrata ad aumentare il valore nutritivo del terreno oppure raccolta per sottofondi, lettiere per le stalle animali o, in casi più rari, per mangime di bassa qualità.

Si ricorda che alla prima opzione gli agricoltori

preferiscono la bruciatura poiché si elimina la possibilità di avere sul terreno l'evolversi di agenti infestanti e patogeni oppure residui di paglia non del tutto decomposti i quali rappresentano un ostacolo alla semina successiva;

- *essere venduta come sottoprodotto* dopo essere stata raccolta, ad intermediari o direttamente ad aziende che ne prevedono il riutilizzo in determinati settori, ad un prezzo di 70 euro/tonnellata (dati indicati nel "Listino prezzi medi prodotti agricoli del 2018/2019" della Camera di Commercio di Biella e Vercelli).

La raccolta della paglia di riso risulta però purtroppo ancora un ostacolo nello sviluppo di una filiera che la veda coinvolta, poiché poco sviluppata e considerata problematica e difficoltosa dagli agricoltori, i quali non sono incentivati alla raccolta e non la vedono come un'opportunità preferendo sempre la soluzione della bruciatura.

Il sottofondo della risaia, infatti, per le specifiche tecniche di coltivazione è un terreno molto pesante ed oltre a richiedere alle macchine agricole in lavoro una potenza elevata, c'è il rischio di generare eventi sfavorevoli sul terreno. Per esigenze di trasporto, vendita e stoccaggio, inoltre il materiale il più delle volte deve essere *pressato in balle*<sup>8</sup>, attraverso appositi macchinari

.....

<sup>6</sup> La silice ostacola la digeribilità della paglia nell'animale; paglia di riso che di base presenta valori nutrizionali relativamente bassi per il bestiame. L'elevato contenuto di ceneri come la silice inoltre, rende la paglia una cattiva materia prima per la conversione energetica poiché può provocare l'usura dei componenti delle macchine per la lavorazione preliminare alla trasformazione in energia ed incrostazioni e agglomerazioni all'interno dell'impianto di combustione.

<sup>7</sup> La paglia di riso, come visto, è caratterizzata lungo la sua vita ed al momento del taglio da elevati tassi di umidità, per questo motivo viene lasciata in campo ad essiccare naturalmente nei giorni successivi al taglio, per permettere di perdere parte dell'umidità che altrimenti comporterebbe problemi sia nella bruciatura che nel riutilizzo.

<sup>8</sup> La pressatura in balle avviene mediante apposite macchine che raccolgono il materiale, lo pressano e lo legano formando balle di diverse tipologie, pesi e dimensioni. Sul mercato si trovano solitamente balle circolari (rotoballe di dimensioni e pesi elevati) o balle rettangolari (jumbo balle o balle di dimensioni e pesi variabili).

ed attrezzature che purtroppo faticano ad essere presenti nelle aziende agricole.

Nonostante gli sforzi che sono stati fatti negli anni è ancora molto poca la richiesta di mercato di questo sottoprodotto e la quantità di paglia di riso presente nel territorio nazionale che attualmente viene reimpressa in un ciclo produttivo, è minima.

Incentivare l'impiego dei residui della lavorazione del riso in utilizzi eticamente e funzionalmente migliori, data la numerosa quantità, ha un potenziale di sviluppo elevato che risponde concretamente ai temi ambientali e di economia circolare. Questo tema, molto attuale, passa attraverso ad una sensibilizzazione di tutti gli attori della filiera, dagli agricoltori agli investitori, i quali devono cercare di proseguire l'onda di ciò che di buono è già stato fatto.

### 5.3.3 Alcuni campi di utilizzo

Come per altri sottoprodotti, si è detto che anche la paglia di riso presenta alcuni progetti che stanno cercando di valorizzare i suoi tratti distintivi in campi che si distaccano da quello che è il mondo agricolo.

Una rapida analisi ha fatto riscontrare come l'applicazione nella bioedilizia sia il comparto ad oggi più sviluppato, affiancato da altri utilizzi minori come la coltivazione di funghi e la bioenergia.

*Bioedilizia* e paglia è un connubio che dura fin da tempi antichi, infatti come materiale da costruzione viene utilizzata artigianalmente da secoli, prima in Asia poi in Europa ed America; questo materiale dalle grandi disponibilità e dalle ottime qualità ha visto il suo impiego per la realizzazione di coperture, tamponamenti, coibenti, rinforzi per malte e mattoni, strutture

portanti fino ad arrivare a sviluppi che vedono la costruzione di vere e proprie *case di paglia*<sup>9</sup>.

La paglia è un materiale che per le proprie caratteristiche chimico-fisiche risulta ottimo in edilizia, tra gli altri per l'efficienza energetica dell'edificio, per il miglioramento termoisolante e della salubrità indoor attraverso una ottima gestione dell'umidità e per ottenere buone prestazioni acustiche e di resistenza al fuoco. Si indica in aggiunta che è un materiale semplice da gestire in opera con discrete compatibilità rispetto alla maggior parte dei materiali presenti sul mercato.

Rispetto alle paglie derivanti da altri cereali, la paglia di riso, per merito dell'elevato contenuto di silice, ha inoltre una più elevata resistenza alla marcescenza, alla formazione di muffe ed all'attacco degli insetti e dei roditori; questi motivi la rendono la tipologia di paglia maggiormente consigliata in edilizia.

Ad oggi la paglia di riso viene utilizzata sia per interventi di nuova costruzione che di riqualificazione, sotto forma di balle, pannelli compressi, sistemi prefabbricati o sfusa in aggiunta come carica strutturale e fibrosa a determinati elementi.

C'è da considerare che veri e propri metodi costruttivi sono nati e si sono sviluppati negli anni intorno alla paglia, ma che purtroppo hanno perso lungo lo scorso secolo spazio nel mercato, in favore della ormai abbondanza di sistemi e materiali edilizi moderni. Un ritorno ad un modo di costruire sostenibile e con materiali di origine naturale ha però fatto riscoprire negli

<sup>9</sup> Le prime case costruite con balle di paglia documentate sono state costruite in Nebraska intorno alla fine dell'800, mentre il più antico edificio in paglia in Europa si trova in Francia ed è la "Maison Feuille" a Montargis del 1921, entrambe sono ancora utilizzate e la paglia utilizzata in balle è ancora perfettamente intatta.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

ultimi anni questo sottoprodotto nel campo della bioedilizia.

Molte sono le realizzazioni di nuovi progetti architettonici che vedono di nuovo la reintroduzione della paglia di riso all'interno degli involucri edilizi in Italia e nel mondo ed alcune aziende artigianali o realtà industriali hanno iniziato a credere nel valore di questo residuo incentivandone la commercializzazione attraverso la creazione di una filiera ad esso collegata. L'esistenza di un crescente interesse verso questo residuo giustifica le sperimentazioni attuate per i pannelli *AGROTESs*.

La realtà sicuramente più interessante nel panorama di riutilizzo della paglia di riso è *RiceHouse srl*<sup>10</sup>. Altre aziende che producono materiali edili da paglia (di provenienza non specificata) sono tra gli altri: *Ecococon*, *Ekopanelly*, *ModCell* e *Ortech Industries*<sup>11</sup>. Altri utilizzi legati alla paglia di riso al di fuori della bioedilizia sono molto meno diffusi, in quanto vedono utilizzate porzioni riscaldate di materia oppure, sono ancora in fase di studio, miglioramento o sviluppo.

Detto questo, un utilizzo ormai consolidato che può offrire buone potenzialità di mercato è quello legato alla produzione fungina. Infatti sfruttando l'apporto organico, l'umidità e le sostanze nutrienti della paglia, essa viene posta come sottofondo di coltivazione da aziende produttive del settore o da privati hobbisti. Oltre a garantire ottimi risultati e possibilità future di impiego di una buona mole di paglia di riso questo campo permette anche un riutilizzo ecologico del sottoprodotto.

Nonostante le proprietà chimiche non indichino le paglie risicole negli utilizzi alimentari ed energetici, questi campi suscitano comunque l'interesse di ricercatori ed aziende che attraverso

studi e ricerche già attive stanno cercando di migliorare nel primo caso la materia prima e nel secondo gli impianti di produzione per permettere di ampliare e sviluppare il recupero di questo materiale.

### 5.3.4 Proprietà principali

Vengono indicate in seguito le principali proprietà intrinseche della paglia di riso (ed in alcuni casi dei suoi manufatti) le quali sono direttamente influenzate dalla sua composizione chimica e dalla sua struttura. Bisogna ricordare che in base alle varietà della pianta di riso, al clima ed al tipo di coltivazione, le caratteristiche delle paglie possono presentare differenze leggere o evidenti tra loro.

### Proprietà morfologiche

Le proprietà morfologiche, le quali indicano la forma e l'aspetto che un materiale assume oggettivamente, possono essere valutate per la paglia di riso attraverso lo spessore, la lunghezza, il colore e la finitura superficiale.

Si parla di spessore della paglia quando si deve indicare la larghezza della sezione cilindrica dei nodi e degli internodi di cui è composta. Il diametro di uno stelo di paglia solitamente si aggira negli internodi intorno ai valori di qualche millimetro, mentre nei nodi il diametro è certamente superiore a causa del suo naturale ispessimento; è uno spessore che va a ridursi a punta verso l'alto.

La lunghezza media della paglia di riso è strettamente legata alla tipologia di varietà, allo stato nutrizionale e sanitario della pianta



<sup>10</sup> <https://www.ricehouse.it/>.

<sup>11</sup> <http://www.ecococon.it/>, <https://www.ekopanelly.it/#top>, <https://www.modcell.com/>, <http://www.ortech.com.au/durra-panels/>.

ed all'altezza del taglio di trebbiatura. Le varietà coltivate in Italia presentano dei fusti che vanno dai 70 ai 120 cm e dunque calcolando che la trebbiatura viene fatta generalmente ad un'altezza che varia tra i 10 e 20 cm, la paglia di riso è lunga tra i 50 e 100 cm; le foglie ancorate al fusto possono arrivare ad una lunghezza di circa 50 cm.

Il colore tipico delle paglie è un giallo intenso che non a caso prende il nome di giallo paglierino e che viene assunto a seguito dell'essiccazione naturale della paglia (durante il ciclo vita del vegetale culmo e foglie sono di colore verde). La tonalità può variare leggermente con il grado di essiccazione e con la varietà di riso coltivata. La finitura superficiale, seppur liscia e lucida alla vista ed al tatto, da un'analisi microscopica risulta più rugosa rispetto alle altre paglie cerealicole.

### **Densità**

La densità della paglia di riso dipende fortemente dal contenuto di umidità all'interno dello stelo e dalla pressatura imposta ad essa per la creazione di balle agricole di raccolta. Il valore di densità di una paglia di riso non compressa ad un contenuto di umidità stabile intorno al 15 – 18% è pari a 70 – 80 kg/m<sup>3</sup>. Discorso diverso si ha se la paglia è compressa, come di consuetudine, in balle; in questo caso la densità del materiale aumenta a partire da 90 kg/m<sup>3</sup> fino ad arrivare a densità alte come 250 kg/m<sup>3</sup> e dipende dalla tipologia e dall'uso successivo dell'involto.

### **Proprietà termiche**

Si analizzano in questa sezione i comportamenti della paglia di riso rispetto all'esposizione al calore e quelli relativi alla sua trasmissione.

La paglia di riso resiste come molti materiali cellulosici a temperature abbastanza elevate senza presentare danni fisici e chimici rilevanti. L'esposizione a determinate temperature (ipotizzabili fino a circa 200 °C) provoca esclusivamente la perdita di umidità senza danneggiarne la struttura, mentre il superamento di una certa soglia, avvia un processo di degrado irreversibile nella struttura delle paglie. Aspetto molto più interessante e rilevante riguardante le proprietà termiche della paglia di riso è quello riguardo al suo comportamento di trasmissione del calore. Il materiale in analisi è considerato un buon isolante termico grazie a valori interessanti di conducibilità termica riscontrati a determinate condizioni di prova. Detti valori infatti risultano influenzati dalla densità della confezione (generalmente in balle), dall'orientamento delle fibre che la compongono e dalla quantità di umidità che riscontra al momento del test di verifica.

Sono presenti numerose prove, realizzate in diverse ricerche ed in diversi laboratori, che attestano il valore di conducibilità termica; i risultati offrono dati molto variabili, che si affermano tra 0,034 W/mK (ottimo valore) e 0,086 W/mK (pessimo valore) proprio perché le condizioni in cui sono state svolte le indagini non sono tra loro omogenee.

Sommariamente si riscontrano valori migliori di isolamento termico quando le fibre sono inclinate perpendicolarmente al flusso di calore e le misure di densità e contenuto di umidità non sono troppo alte.

Il valore di calore specifico attestato per la paglia risicola è di 1900 j/kgK.

### **Proprietà acustiche**

Il comportamento acustico della paglia

## 5. Residui agricoli da coltivazione

è apprezzabile dal punto di vista del fonoisolamento e del fonoassorbimento se ad essa è collegata una massa elevata, ovvero se viene utilizzata con buona densità per la realizzazione di manufatti.

Questo viene riscontrato solitamente in edilizia, quando il potere fonoisolante di una parete in paglia di riso (il rivestimento o la finitura della paglia sono fondamentali nel caratterizzare le prestazioni) mediamente dense e con spessori ingenti, permette di ottenere riduzioni che vanno da 43 a 55 dB in tutti i campi di frequenza.

### Proprietà meccaniche

Quando si parla di proprietà meccaniche della paglia di riso vengono intese le risposte caratteriali che presenta la fibra quando è sottoposta ad azioni di sollecitazioni esterne di tipo meccanico. Bisogna specificare come le condizioni di umidità della paglia al momento delle prove possono comportare modifiche e variazioni nei risultati.

Analizzando una curva carico-allungamento di uno stelo si può dire che la paglia, in accordo a molte fibre cellulosiche legnose, presenta una ottima tenacità se posta sotto trazione lungo la propria lunghezza, giungendo a rottura con un allungamento percentuale molto basso. Ciò comporta che la fibra sia molto rigida, poco estensibile e con una elasticità ed un comportamento a flessione decisamente basse se non nulle; una elevata quantità di umidità all'interno della struttura porta ad avere risultati migliori.

Anche il comportamento a compressione non è degno di nota, effettivamente se posta sotto compressione la paglia non presenta buone risposte, infatti oltre alla poca resistenza, la

fibra non è resiliente ed il risultato è quello di un materiale che non riprende la propria forma originaria una volta cessata la forza del carico e ciò sicuramente è un effetto molte volte non desiderato.

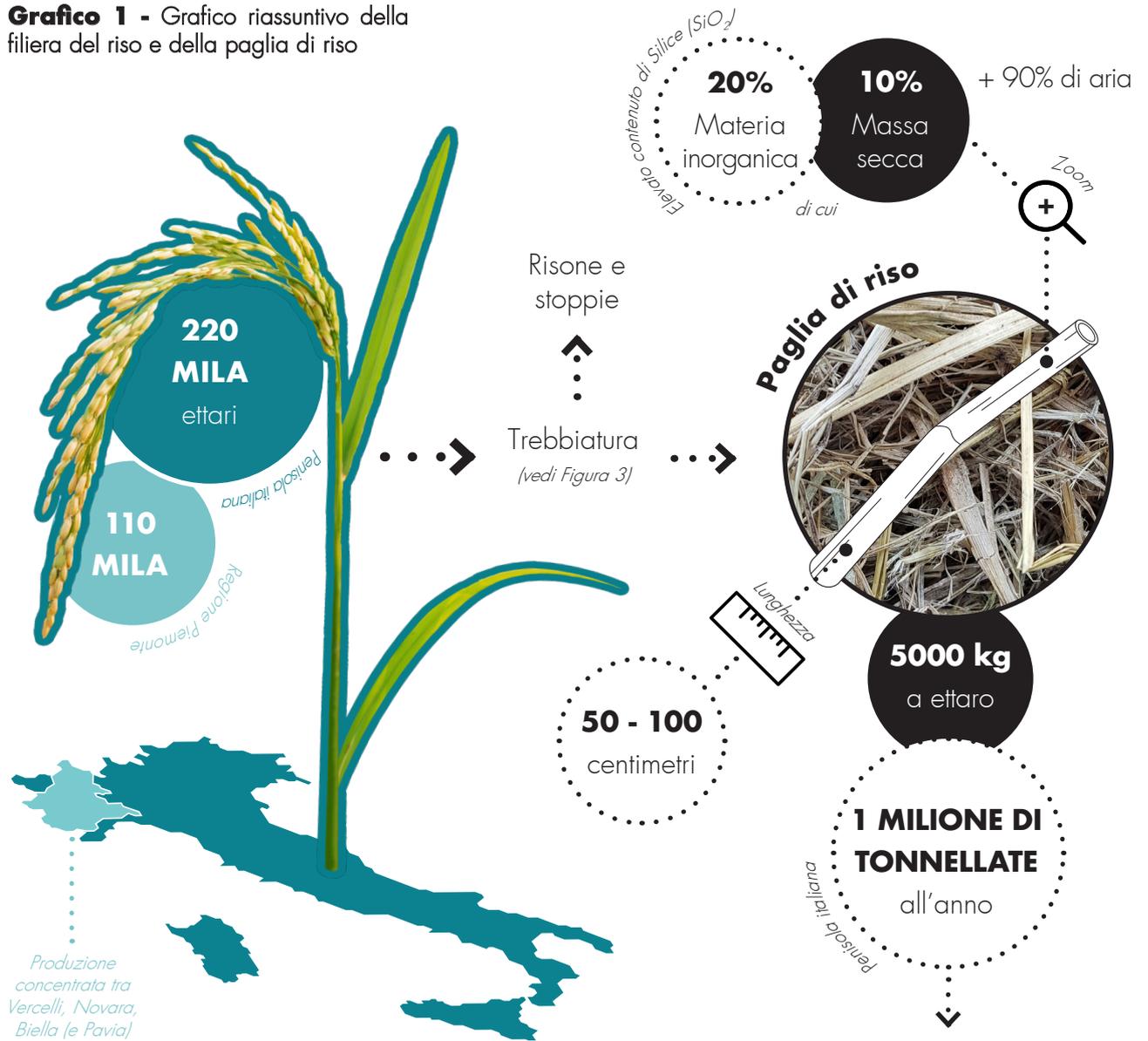
Le non ottime prestazioni meccaniche delle paglie vengono migliorate notevolmente, qualora siano richieste, attraverso la densità dei prodotti che vanno a costituire. È stato dimostrato tramite alcuni test scientifici, come balle di paglia precomprese ad una densità doppia rispetto a quella iniziale, offrano prestazioni meccaniche decisamente migliori sia di tenacia che di comportamento allo schiacciamento ed alle azioni di taglio e flessione.

### Proprietà igroscopiche

La paglia è un materiale che per sua struttura e composizione tende ad assorbire e cedere discreti quantitativi di umidità dall'ambiente in cui è posta e dunque è a tutti gli effetti considerata igroscopica, come la maggior parte dei materiali vegetali.

Le condizioni ambientali di temperatura e tasso di umidità a cui è esposta la paglia ne influenzano la quantità di vapore d'acqua al suo interno; si considera che elevati valori misurati provocano effetti indesiderati sul materiale, a partire dalla riduzione delle prestazioni termiche fino ad arrivare al serio degrado della materia, dunque qualora la paglia sia conservata o esposta ad ambienti molto umidi per essere conservata deve essere trattata o protetta da strati protettivi. La paglia di riso può raggiungere valori di ripresa di umidità (percentuale di umidità rispetto al peso secco) che si aggirano intorno ad un massimo di 25-27% prima che si sviluppino significativi processi di sviluppo microbico e di decomposizione. I valori percentuali

**Grafico 1** - Grafico riassuntivo della filiera del riso e della paglia di riso



**“Residuo agricolo da coltivazione del riso**, ottenuto sul terreno coltivato a seguito della trebbiatura eseguita a completa maturazione ed essiccazione della pianta. È tecnicamente la porzione maggioritaria del fusto del cereale spogliata della granella.”



**Bioedilizia** ←.....  
Sotto forma di balle, pannelli, o sfusa all'interno di svariati elementi costruttivi

Altri utilizzi minori ←.....  
Produzione fungina, bioenergia e mangimistica

Quali sono i principali settori di utilizzo? ←.....

Qual'è il loro destino?

- 1** Smaltita tramite bruciatura  
*Difficilmente smaltita come rifiuto speciale, nel caso il codice è CER "02.01.03 scarti di tessuti vegetali"*
  - 2** Utilizzata in normali pratiche agricole  
*Lasciata in campo per poi essere interrata oppure raccolta in genere per sottofondi e lettiere animali*
  - 3** **Venduta come sottoprodotto**  
*Ad intermediari o direttamente ad aziende che ne prevedono il riutilizzo in determinati settori*
- € Prezzo di vendita = circa 70 euro/tonnellata

## 5. Residui agricoli da coltivazione

forniti sono però da considerarsi molto elevati in quanto si rilevano a quei livelli riduzioni prestazionali significative. Solitamente, per l'applicazione sicura di manufatti in paglia, vanno considerati ideali quantità di umidità del 14-16% o comunque mai superiori al 20%. L'elevato contenuto di silice permette alla paglia di riso di essere la paglia più resistente alla marcescenza.

Dal punto di vista della traspirabilità la paglia è un materiale traspirante; le balle di paglia di dimensione standard mediamente dense presentano valori di coefficiente di resistenza al passaggio del vapore ( $\mu$ ) tra 2,5 e 3.

Possono avvenire fenomeni di dilatazione igroscopica a seguito dell'assorbimento di contenuti elevati di umidità da parte della paglia di riso.

### **Comportamento all'acqua**

Un grave problema per la paglia durante l'utilizzo è l'acqua, infatti nonostante la "pelle cerosa" di rivestimento di cui è formata grazie alle sue componenti chimiche, è in grado di assorbirla facilmente generando danni di varia entità in maniera abbastanza rapida; dalla perdita delle proprietà fisiche, alla formazione di muffe e funghi fino ad arrivare alla marcescenza totale.

La conformazione del prodotto in cui è utilizzata la paglia ed il trattamento subito, sono fondamentali per la protezione e per un aumento delle prestazioni di idrorepellenza. Viene sempre consigliato di utilizzare rivestimenti protettivi qualora vi siano possibilità di contatto diretto con acqua in fase di utilizzo della paglia.

### **Comportamento al fuoco**

La paglia di riso non è sicuramente un materiale

conosciuto per l'ottima reazione al fuoco, ma piuttosto viene identificato, nel credo comune, come facilmente infiammabile. In effetti la paglia sfusa brucia molto facilmente.

Discorso diverso è da affrontare quando la paglia viene confezionata (in balle o con altre conformazioni), infatti in questi casi si iniziano a vedere risultati in termini di resistenza al fuoco; ciò non vuol dire che essa non brucia, ma che impiega più tempo nella combustione. Il motivo è semplice, la compressione e quindi la densità con cui viene fatta la balla di paglia o il manufatto pone limiti alla presenza di ossigeno tra gli steli, elemento fondamentale affinché avvenga il processo di combustione.

Le prove di resistenza al fuoco con standard europei su balle di paglia non trattate a densità ed umidità medie hanno rilevato una resistenza al fuoco di 90 minuti con classe di resistenza di tipo B (debolmente combustibile). La resistenza al fuoco dei manufatti può aumentare qualora vengano previsti determinati trattamenti o rivestimenti della paglia in fase di utilizzo.

### **Resistenza alle intemperie, agli agenti chimici e biologici**

La paglia, in quanto materiale organico, subisce col tempo una degradazione attraverso processi naturali molto lenti; in condizioni di stabilità la durabilità è elevata mentre agenti esterni possono influire accelerando o diminuendo la velocità di questo ciclo.

Le intemperie possono essere uno di questi motivi di deterioramento, soprattutto se analizzate a livello di radiazioni solari e acqua piovana. Le prime causano un lento indebolimento a livello strutturale della paglia di riso, mentre l'esposizione all'acqua piovana, se non posteriormente eliminata mediante asciugatura,

come visto nei paragrafi precedenti, causa danni rapidi che la degradano e ne fanno perdere molte proprietà in un veloce arco temporale.

Altra causa che potrebbe considerarsi sfavorevole è l'esposizione ad agenti chimici, anche se non esistono studi specifici che evidenziano il comportamento della paglia in generale e della paglia di riso nello specifico, rispetto al contatto con solventi acidi e basici. Si può ipotizzare per comparazione con alcune fibre vegetali a base cellulosa *simili per composizione chimica*<sup>12</sup> che la paglia abbia discreta resistenza, anche se non totale, all'azione basica (o alcalina) mentre è attaccata se esposta a soluzioni acide. È difficile azzardare un valore di pH isoelettrico per la paglia in modo da capire il pH delle soluzioni che gli creano maggiori danni, ci si limita a dichiarare che il fenomeno di danneggiamento risulterà sicuramente più intenso qualora all'acido venga unita l'azione del calore, una concentrazione forte in soluzione ed un tempo di contatto prolungato.

Si parla di agenti biologici per la paglia riferendosi a muffe, funghi, insetti e roditori che possono proliferare danneggiando gli steli. È ormai consolidato però che in condizioni stabili e normali di contenuto di umidità (circa intorno al 15%), la paglia di riso è un materiale inattaccabile da questo tipo di infestanti.

La paglia di riso, grazie all'elevato contenuto interno di silice, è molto più resistente delle altre paglie in termini di marcescenza ed attacco di funghi e muffe, inoltre questo la rende nociva per l'alimentazione animale e dunque anche per insetti e roditori.

Si aggiunge che in fase di utilizzo (sia in balle, sia in pannelli, un pò meno in fasci sfusi) la paglia presenta quasi sempre una forte compressione ed elementi di rivestimento che non permettono a questi tipi di animali neanche un eventuale annidamento al suo interno.

#### 5.4 LA FILIERA DEL MAIS

Quando si parla di filiera del mais si intende *l'insieme di risorse, operazioni ed attività volte alla coltivazione, trasformazione e distribuzione del mais in granella o del trinciato di mais*.

Il *mais*<sup>13</sup> è una materia prima derivante dalla coltivazione di piante erbacee della famiglia delle graminacee (del tipo *Maydeae*, specie *Zea mays*), che viene utilizzata sotto varie forme per il sostentamento animale, umano e per la produzione di energia.

Il mais, come quello che ancora oggi si coltiva, è nativo del Centro America; è stato importato in Europa e poi successivamente in Italia a metà millennio e ad oggi è coltivato in tutto il globo. Con un ammontare produttivo di granella che secondo i dati mondiali ufficiali forniti dal FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) si aggira intorno a 1.150.000.000 di tonnellate (circa 195.000.000 di ettari) e con numeri di insilato che solo nell'Unione Europea

#### Grafico 1 - Le proprietà principali della paglia di riso



- Buone proprietà meccaniche (in balle)
- Mediamente igroscopica
- Buone proprietà termiche (in balle)
- Resistenza all'infiammabilità (in balle)
- Resistenza alla marcescenza ed all'attacco di muffe, funghi, insetti e roditori

<sup>12</sup> Comparazione svolta rispetto alle fibre di lino ed al legno, le quali presentano caratteristiche molto simili in composizione e struttura con le paglie.

<sup>13</sup> Esistono molti nomi per il mais in Italia tra cui frumentone, formentone, granone, granoturco, melica e meliga.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

secondo l'EUROSTAT sfiorano i 245.000.000 di tonnellate (circa 6.500.000 di ettari) ad oggi e negli ultimi anni il mais è il cereale più coltivato al mondo.

La distribuzione produttiva di granella nel mondo è dislocata per quasi un quarto del totale tra Usa, Cina, Brasile e Messico, anche se l'Italia è comunque tra i primi quindici produttori mondiali. In riferimento invece alla produzione di insilato di mais nel Vecchio Continente troviamo tra i primi produttori Germania, Francia, Polonia e Italia.

Uno sguardo alla nostra penisola ci indica che la coltura del mais è distribuita in modo preponderante tra Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna.

### 5.4.1 Coltivazione del mais

Il mais è una pianta annuale coltivata in monocoltura anche se in passato consigliata in *avvicendamento*<sup>14</sup> attraverso rotazioni con altre colture.

Il ciclo maidicolo impiega le stagioni primaverili ed estive per il suo sviluppo completo dalla semina alla maturazione, impiegando in base alla varietà, alle condizioni climatiche, a condizioni agricole di supporto e la destinazione d'uso del prodotto, un periodo che varia tra 90 e 140 giorni.

Si può considerare la pianta del mais come termofila, infatti anche se ad oggi viene coltivata in molte latitudini che offrono condizioni meteoclimatiche differenti, le migliori caratteristiche finali del prodotto si riscontrano quando si presentano cospicue radiazioni solari

.....

<sup>14</sup> Con *avvicendamento* si intende la rotazione di diverse colture all'interno di una superficie coltivata. Attualmente il mais è generalmente coltivato in monocoltura, ma in passato entrava in rotazioni complesse ed ancora oggi in alcuni casi viene alternata soprattutto con soia a cadenza triennale.



**Figura 4** - La coltivazione del mais  
(Fotografia di Katherine Volkovski da Unsplash)

unite a temperature abbastanza elevate lungo tutto il suo periodo vegetativo, come una media diurna compresa tra i 21 e i 27 °C ed una media notturna intorno ai 15 °C. Temperature limite che possono causare limitazioni produttive e danni alla vegetazione maidicola sono quelle inferiori ai 10 °C e superiori ai 32 °C; condizioni estreme come gelo e caldo torrido non sono sopportate provocando la morte fisiologica del vegetale.

Come quasi tutte le colture agricole, anche per il mais sono determinanti, al fine di una crescita e una resa ottimale, elementi come la condizione dei terreni e la disponibilità idrica.

La tipologia di terreno ideale alla coltivazione del mais è quello ricco di sostanze organiche, drenante, moderatamente permeabile e profondo, anche se non facile da trovare. Tuttavia la capacità di adattamento della coltura, permette di adattarsi a molte varietà di sottofondi colmando attraverso la cura ed operazioni di affinamento agricolo il distacco di produttività rispetto a terreni ottimali. Sono da evitare però terreni molto duri, superficiali e compatti poiché si oppongono all'assorbimento delle acque.

L'apporto idrico, naturale o artificiale, per coltivare il granturco è considerevole ed è essenziale per sfruttare tutte le potenzialità della pianta. Carenze idriche prolungate o contenuti di acqua troppo elevati possono causare oltraggi alla buona riuscita colturale fino alla perdita completa della pianta e del raccolto.

Come per il riso anche il ciclo biologico del mais è suddiviso in due fasi, quella vegetativa e quella riproduttiva. La prima è una fase che va dalla germinazione della pianta fino all'inizio della fioritura (ovvero la comparsa

dell'infiorescenza maschile) la seconda fase invece dalla fioritura alla piena maturazione della granella.

Le operazioni che vengono attuate per coltivare il mais sono indicate successivamente, facendo riferimento ad un ciclo ordinario; è da tenere presente che i processi per l'ottenimento di mais da granella e trinciato di mais da foraggio o biomassa sono praticamente le medesime in coltivazione, cambiano le *tempistiche*<sup>15</sup>, le modalità, i macchinari della trebbiatura ed infine le operazioni successive alla raccolta.

- *operazioni da coltivazione*: aratura (fine inverno), erpicatura, concimazione, semina (tra metà marzo e fine aprile, anche a maggio e giugno in caso di avvicendamenti colturali), diserbo (oppure sarchiatura e rincalzatura), irrigazione, trebbiatura (metà settembre e ottobre per granella, tra luglio e settembre per trinciato di mais);

- *operazioni post – coltivazione (granella)*: essiccazione, stoccaggio, lavorazione della cariosside, gestione dei residui in campo;

- *operazioni post – coltivazione (trinciato di mais)*: *insilamento*<sup>16</sup>, gestione dei residui in campo.

Nello specifico di coltivazioni per trinciato da

.....

<sup>15</sup> Il trinciato di mais viene raccolto quando la pianta non ha ancora raggiunto la maturazione fisiologica totale ma ha completato solo la maturazione cerosa, stato in cui la cariosside è formata ma ha consistenza pastosa.

<sup>16</sup> L'insilamento è una tecnica di conservazione e stoccaggio di materie vegetali umide che limita al massimo le perdite di valore nutritivo mediante acidificazione in assenza di ossigeno (anaerobiosi), raggiunta in circa 40 giorni, quando il pH del composto è intorno al 4. I tempi di insilamento sono variabili e possono arrivare anche ad un anno; non è di buona pratica togliere il materiale prima del periodo di stabilizzazione.

L'insilamento avviene in contenitori specifici chiamati silos, i quali sono di diverse tipologie. Il trinciato di mais viene insilato in silos a trincea (o orizzontali) formato da pareti laterali che delimitano un corridoio a pavimento leggermente pendente, che prevedono la disposizione del cereale a strati compatti orizzontali e la sua successiva copertura per un completo isolamento rispetto all'esterno.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

foraggio o biomassa, possono venire utilizzate varietà di mais a maturazione precoce che hanno un ciclo vita ridotto, permettendo all'interno di un anno solare seconde semine e quindi doppio raccolto.

### 5.4.2 Morfologia della pianta

La morfologia della pianta di mais si presenta con la suddivisione nelle seguenti parti:

- *apparato radicale*, è la parte interrata della pianta con funzione principale di ancoraggio strutturale, di resistenza meccanica e di assorbimento dell'acqua e delle sostanze nutritive dal substrato. È un sistema fascicolato di radici molto sviluppato e complesso che si instaura fino ad elevate profondità crescendo a pari passo con la pianta e variando in base alle caratteristiche vegetali ed alla conformazione del terreno;

- *fusto (o culmo, o stocco)*, di misura variabile in base alla varietà del mais, solitamente ha un'altezza che si aggira intorno ai 2 o 3 metri, con un diametro di sezione circolare di circa 3 o 4 centimetri. È costituito, come per il riso, da una successione di nodi ed internodi, in un numero che si aggira intorno ai 15 anche se in realtà anche esso è variabile (tra gli 8 ed i 21). Gli internodi alla base sono più ravvicinati e con diametro maggiore per poi distanziarsi ed affinarsi nella parte superiore della pianta;

- *foglie*, sono disposte in alternanza in entrambi i lati del culmo (o stocco) una per ogni suo nodo, in un numero variabile da 8 a 24. Sono di dimensioni importanti e variabili da 30 a 150 centimetri per la lunghezza e fino a 15 centimetri in larghezza;

- *inflorescenze*, la pianta del mais ospita due tipi di inflorescenze, una maschile ed una femminile (si dice "pianta monoica"). L'inflorescenza

maschile (o pennacchio) si posiziona nella parte sommitale del culmo, ha un aspetto ramificato e può essere sia eretto che pendulo.

L'inflorescenza femminile (o spiga, o pannocchia) è una ramificazione laterale posizionata all'altezza del sesto o settimo nodo dello stelo, con una lunghezza da matura che varia tra 8 e 42 centimetri ed un diametro compreso tra i 3 e i 7,5 centimetri. Una pannocchia è costituita da una parte centrale (tutolo) il quale sorregge un numero mutevole di cariossidi (tra 200 e 1000). La pannocchia è ricoperta da foglie protettive (brattee) da cui escono esclusivamente dei peli vegetali (stilo o seta).

Il numero di pannocchie per pianta è potenzialmente elevato anche se di norma ne cresce solo una per unità vegetale;

- *seme (o granella, o cariosside)*, è il frutto secco della pianta ovvero la granella che viene generalmente raccolta. Sono inserite sul tutolo ed hanno un'anatomia analoga a quella degli altri cereali, dove internamente è posizionato l'embrione, utile nelle semine successive per la nascita di nuove piante qualora venga interrata.

### 5.4.3 Sottoprodotti da maidicoltura

La maidicoltura può causare quantità rilevanti di residui agroalimentari lungo l'intera filiera, più o meno interessanti circa il riutilizzo in altri processi industriali e dipendenti dall'obiettivo della coltivazione e dalla tipologia di lavorazione che ne viene prevista. Si individuano, come già accennato per la risicoltura, due grandi famiglie di residui, quelli da coltivazione e quelli da lavorazione. Nel caso del mais è necessaria un'analisi separata dei residui ottenuti nel mais da granella e quelli nel mais destinato a trinciato.



**Figura 5** - La trebbiatura e trinciatura del mais  
(Fotografia di Franz W. da Pixabay)

In seguito un breve approfondimento delle categorie:

- *residui da coltivazione per granella*, ottenuti sul terreno coltivato nella fase finale del ciclo sul campo con l'operazione di trebbiatura, la quale taglia la pianta ad un'altezza definita e può attuare la raccolta in due modalità differenti causando costituzioni diverse dello scarto.

Nel caso in cui venga selezionata esclusivamente la granella, come residui da coltivazione possiamo trovare gli stocchi, i tutoli, le foglie, le brattee, i pennacchi e le stoppie. Invece qualora il macchinario preveda la raccolta dell'intera pannocchia i residui lasciati in campo sono gli stocchi, le foglie, i pennacchi, le stoppie e parte delle brattee (una parte rimane attaccata all'inflorescenza per poi essere eliminata nella prima fase di lavorazione assieme ai tutoli). Principalmente i residui vengono lasciati in campo, talvolta viene organizzata la raccolta (tranne delle stoppie) mediante rotoballe per essere usati in impianti di combustione;

- *residui da coltivazione per trinciato di mais*,

ottenuti sul terreno coltivato nella fase finale del ciclo sul campo con l'operazione di trebbiatura, la quale taglia la pianta ad un'altezza definita, trinciandola e raccogliendola nella totalità, lasciando sul campo esclusivamente le stoppie.

- *Residui da lavorazione della granella e del trinciato*, originati dalla trasformazione della materia prima. La granella viene lavorata per ottenere una gamma molto vasta di prodotti alimentari (umani ed animali) con operazioni successive all'essiccazione causando residui altrettanto svariati, di difficile catalogazione e quantificazione.

Il trinciato di mais utilizzato da foraggio non causa residui, in quanto non ci sono operazioni di trasformazione se non l'insilamento prima che venga mangiato dall'animale, mentre se utilizzato come biomassa si avrà un residuo organico a fine processo di digestione che può diventare un ottimo fertilizzante da spargere nei terreni di coltura. Talvolta il residuo può essere proprio il trinciato da biomassa poichè succede che non sia utilizzato per le quantità produttive troppo elevate (vedi paragrafi successivi).

### 5.5 IL TRINCIATO DI MAIS

Il trinciato di mais (o silomais, o insilato di mais, o mais ceroso) è un prodotto da raccolta della coltivazione del mais definito nello specifico come il risultato della trinciatura dell'intera pianta di mais, compresa la pannocchia, effettuata mediante trebbiatura a maturazione incompleta della granella (fase di maturazione cerosa). È composto da tutti gli elementi della coltivazione ad esclusione delle stoppie e viene usato come componente da foraggio o come biomassa per alimentare impianti di produzione energetica.

Conformemente all'utilizzo ci sono alcune

## 5. Residui agricoli da coltivazione

differenze nel materiale; per la realizzazione dei pannelli *AGROTES* è stato utilizzato trinciato di mais destinato a biomassa energetica, fornito dall'azienda Agrindustria Tecco s.r.l.

### 5.5.1 Struttura e composizione chimica

Il trinciato di mais da biomassa è un prodotto che si presenta come un insieme di pezzi ad elevata umidità, disomogenei, a forma irregolare ed aspetto dissimile. La struttura della totalità del prodotto è esclusivamente dipendente dalle pratiche di raccolta, che prevedono lo sminuzzamento meccanico di tutta la pianta (stocchi, tutoli, foglie, brattee, pennacchi e granelle) in piccoli pezzi che vengono mischiati.

La composizione chimica che ne risulta è decisamente eterogenea e valutarne i pesi in gioco non è semplice in quanto variabili in base alla varietà della pianta, alle condizioni climatiche di crescita, alle pratiche agronomiche attuate, la maturità e l'umidità alla raccolta ed infine alle condizioni e le pratiche dell'insilaggio.

È tuttavia possibile semplificare la composizione di un trinciato integrale (altro nome con cui viene indicato il materiale) destinato a silos, in due macro costituenti, una parte di acqua (tra il 65 - 70 %) e una di sostanza o massa secca (tra il 30 - 35%).

La sostanza secca che ci indica la parte di materiale che rimane e dunque non evapora a seguito di un eventuale essiccazione, è composta principalmente (circa il 70 - 80%) da amido e fibre (cellulosa, emicellulosa e lignina) con in aggiunta una buona percentuale proteica e di ceneri inorganiche.

La quantità di sostanza secca influenza i parametri qualitativi di un prodotto da mais; essa

aumenta in modo direttamente proporzionale allo spostamento in avanti della maturazione della pianta e dunque è fondamentale capire la giusta tempistica di raccolta del trinciato.

Si tenga in considerazione che durante l'insilamento, si riscontrano alcune perdite di sostanza secca, solitamente intorno ad una percentuale tollerabile del 5 - 15% rispetto alla percentuale di massa secca del trinciato appena raccolto. Le perdite di sostanza secca sono dovute dai microrganismi che si sviluppano durante la conservazione all'interno dell'insilato e sono proporzionali al tempo di permanenza, alla condizione iniziale della materia ed alla compattezza e quantità di ossigeno presente internamente nel trinciato.

### 5.5.2 Il destino del trinciato

Come abbiamo già analizzato, sono enormi le quantità di trinciato di mais prodotte attualmente in Italia che, dopo essere state insilate in silos a trincea, vengono utilizzate per specifici impieghi. Il prodotto, ha un destino molto chiaro e delineato, di fatto lo troviamo esclusivamente: - *usato come foraggio da alimentazione per animali*, principalmente di ruminanti, per cui mediamente il trinciato di mais rappresenta più della metà della quota di sostanza secca ingerita. Usare l'insilato come alimento zootecnico è pratica assai diffusa, si stima infatti che in Italia oltre l'80% sia impiegato in questo campo.

Alcuni allevatori sono attrezzati per la produzione propria del trinciato, mentre esistono aziende zootecniche che il trinciato lo acquistano direttamente all'ingrosso ad un prezzo che si aggira intorno ai 35 - 40 euro/tonnellata (secondo il Listino prezzi del 2019 della Camera di Commercio di Brescia);

- usato come biomassa per l'ottenimento di biogas, ovvero come fonte energetica tramite digestione anaerobica<sup>17</sup>.

I costi di approvvigionamento dai coltivatori della materia prima da parte delle società che gestiscono gli impianti energetici si aggirano intorno ad una cifra media di 45 - 55 euro/tonnellata, anche se molti impianti dispongono di proprie coltivazioni.

Le potenzialità energetiche del mais sono molto apprezzate in termini di efficienza e resa nella produzione di biomassa e biogas metano, tant'è vero che è sempre più diffusa oggi, grazie anche agli incentivi ed ai benefici economici che offre ai coltivatori, la pratica di coltivare piantagioni di granturco dedicate esclusivamente all'ottenimento di biomassa energetica.

Bisogna necessariamente però fare una valutazione etica, sociologica ed ambientale, che vada oltre all'aspetto puramente economico, riguardo a questa pratica.

Un problema che ci si pone, è quello della conversione di molti terreni sul territorio nazionale da coltivazioni agricole per fini alimentari a coltivazioni agricole per scopi energetici. La produzione di biomasse sottrae migliaia di ettari di terreni utili per alimentare la popolazione a favore di terreni che alimentano macchine.

Gli impianti di digestione anaerobica, a rigor di logica, dovrebbero "nutrirsi" di residui di produzione (agricoli vegetali, industriali, agricoli da allevamento ecc...), è in quel momento che si valorizza e si sfrutta a pieno la potenzialità sostenibile e in termini di economia circolare di questa tecnologia. Realizzare prodotti appositi per alimentare queste strutture sposa esclusivamente criteri economici e lucrativi.

Un'ulteriore prolema si rileva, poiché si riscontrano numerosi volumi di energia prodotta da biogas vegetale che di fatto il mercato non assorbe e dunque è inutilizzata; si aggiunge, inoltre, che è molto il trinciato di mais in eccesso che non viene trasformato (e quindi diventa uno scarto). La situazione, oltre ad evidenziare una necessità di normative che regolino (data la sua appetibilità economica) la sua diffusione incontrollata in questo campo, può e deve cercare di far pensare, qualora non ci sia la volontà o la possibilità di un ritorno alla coltura agricola alimentare, a nuovi utilizzi della materia prima.

Il trinciato di mais prima di essere impiegato come biomassa deve essere sicuramente pensato in altri contesti.

### 5.5.3 Proprietà principali

Successivamente si presentano le proprietà principali del trinciato di mais, le quali, oltre ad essere influenzate dalla struttura e dalla composizione chimica, dipendono dalla varietà della pianta ed alcune dalla tipologia di utilizzo. Va tenuto in considerazione che caratterizzare un materiale così eterogeneo non è semplice poiché composto da numerosi elementi con peculiarità differenti.

### Proprietà morfologiche

Le proprietà morfologiche del trinciato di mais possono essere valutate in maniera oggettiva

<sup>17</sup> La digestione anaerobica consiste nella demolizione naturale della sostanza organica vegetale in una miscela di metano e anidride carbonica (biogas) attraverso l'azione di batteri specifici.

È una trasformazione che avviene in appositi digestori, in assenza di ossigeno, in condizioni di temperatura variabile tra i 30 e i 60 °C e con i tempi compresi tra 15 e oltre 60 giorni (nel caso di vegetali). Il biogas, che è gas metano, viene utilizzato per la produzione di energia oppure per la funzione dei riscaldamenti edilizi.

## 5. Residui agricoli da coltivazione

attraverso la lunghezza (o grandezza), il colore e la finitura superficiale.

La lunghezza del trinciato è uno dei parametri che oltre a rappresentare la chiave di successo di un buon insilato ne determina anche gli utilizzi. La lunghezza è determinata in fase di raccoglimento attraverso la trinciatura; per esigenze produttive i trinciati destinati a biomassa energetica sono più corti rispetto agli insilati da foraggio animali, per una lunghezza che varia dai 5 millimetri a 1,5 centimetri per i primi e tra 1 e 2,5 centimetri per i secondi.

Il colore dell'insilato di mais appena trinciato è verde e giallo (simile a quello della pianta prima di essere lavorata), mentre successivamente al processo di insilamento il colore deve essere marrone chiaro con sfumature tendenti al verde ed al giallo. Nel caso venga essiccato alla luce solare il colore rimane simile, perdendo comunque di tonalità. Il colore subisce leggere variazioni in base al tempo di insilamento o essiccazione ed alla varietà del mais utilizzata.

La superficie del trinciato di mais risulta perlopiù ruvida, le parti di granella all'interno del trinciato sono le uniche ad avere una superficie liscia. Da notare che in un buon insilato rimane sempre riconoscibile la struttura della pianta di partenza.

### Densità

La densità del trinciato di mais dipende essenzialmente dal contenuto di umidità e di sostanza secca che presenta, oltre che dalla varietà da cui proviene e dalla pressatura presente durante l'analisi.

Un trinciato di mais presenta una densità media durante insilamento pari a circa 650 - 750 kg/m<sup>3</sup> in quanto molto compresso (tra 115 a 370 kg/m<sup>3</sup> di sostanza secca). Se analizzato una volta estratto dal silo, non compresso e con

umidità quasi nulla, ovvero a materiale secco disidratato (a seguito di essiccazione), la densità rilevata si aggira intorno ai 100 kg/m<sup>3</sup>.

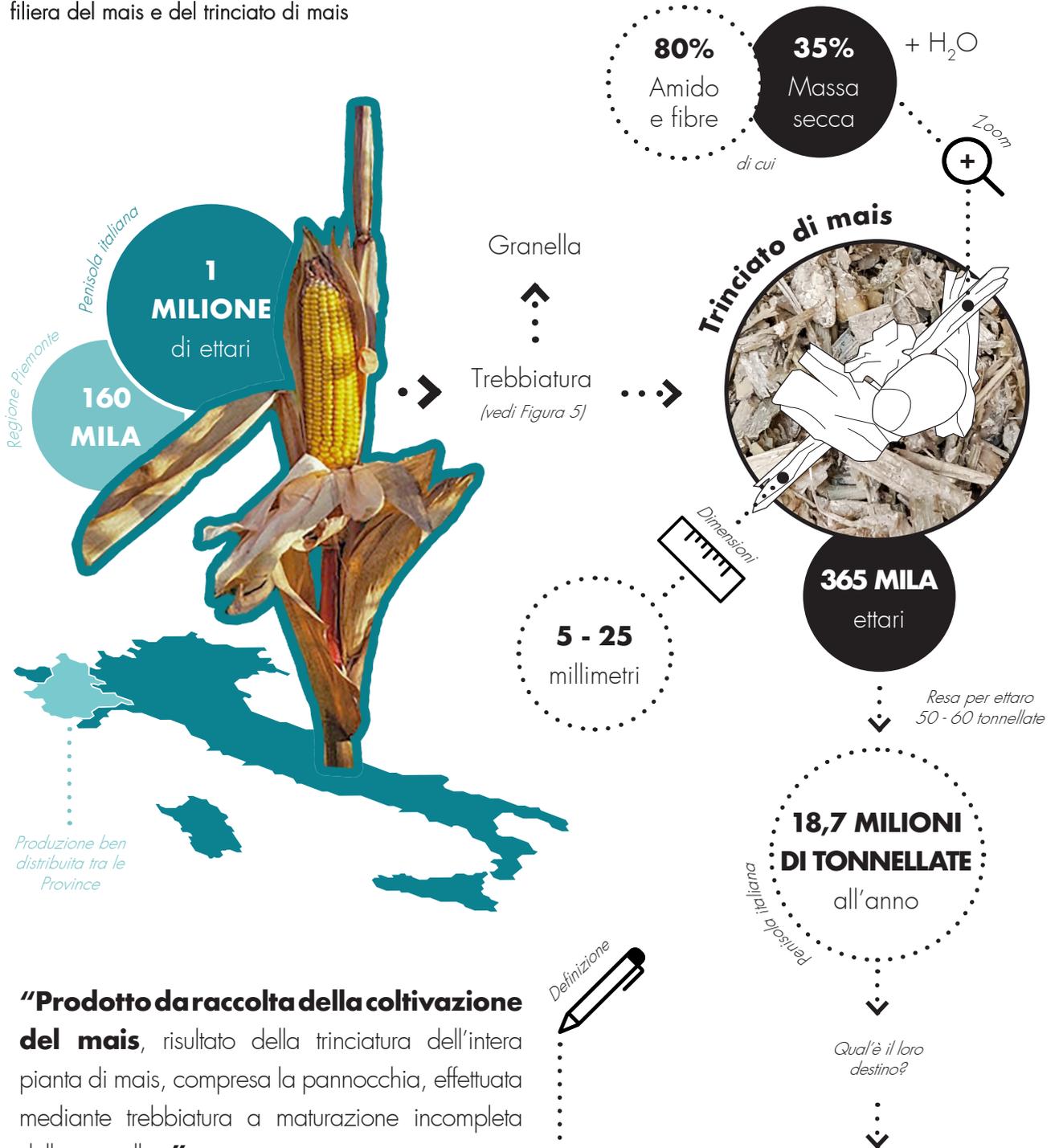
### Resistenza alle intemperie, agli agenti chimici e biologici

L'analisi della conservazione e della durabilità di un materiale organico come il trinciato di mais nei confronti di agenti esterni è tema delicato. Bisogna considerare che l'insilato per gli utilizzi attuali che ne vengono fatti necessita di essere conservato con umidità e ciò prevede che vi siano condizioni precise di stabilità costante che ne permettono il perfetto mantenimento nel tempo (fino ad oltre un anno). Il venir meno di queste condizioni costanti ed ottimali fanno registrare nel trinciato una rapida fermentazione batteriologica, la quale causa la nascita e l'attacco di muffe o lieviti che portano il materiale ad un rapido deterioramento fino alla marcescenza.

In casi inusuali dove l'utilizzo del trinciato di mais venga previsto secco, a seguito dell'essiccazione naturale o artificiale, bisogna assicurarsi che la massa sia correttamente asciutta, con contenuti di umidità percentuale molto bassi; con residui di umidità interna troppo elevati la sostanza tende molto facilmente ad essere soggetta ad attacchi di muffe e batteri che ne provocano la fioritura con successivo degrado della materia.

L'esposizione ad agenti atmosferici dell'insilato umido o del trinciato secco possono accelerare i processi di alterazione. Acqua piovana che bagna la materia prima, esposizione alla radiazione solare continuativa e nel caso dell'insilato umido esposizione prolungata all'aria, provocano perdite prestazionali e talvolta comparse di

**Grafico 2** - Grafico riassuntivo della filiera del mais e del trinciato di mais



Coverzione di terreni agricoli <.....  
 Da coltivazioni per fini alimentari a coltivazioni per scopi energetici

Troppo energia prodotta <.....  
 Molto produzione non è assorbita dal mercato

Quali sono i problemi che pone questa pratica? <.....

Troppo materia prima disponibile <.....  
 Molto trinciato non viene trasformato (diventando uno scarto)

**1** Foraggio da alimentazione per animali

€ Prezzo di mercato = 35 - 40 euro/tonnellata

**2** Biomassa per l'ottenimento di biogas

€ Prezzo di mercato = 45 - 55 euro/tonnellata

## 5. Residui agricoli da coltivazione

inflorescenze microbiotiche che se trascurate portano a putrefazione materica. Il trinciato di mais conservato col metodo a trincea è molto sensibile a questi agenti, motivo per cui viene effettuato col materiale pressato a forti densità ed isolato dalle condizioni esterne.

Tra le cause che possono creare effetti sfavorevoli sul trinciato di mais c'è l'azione degli agenti chimici, ovvero il comportamento rispetto a soluzioni acide o basiche. Per quanto riguarda la valutazione dell'insilato umido siamo a conoscenza del suo pH isoelettrico che si attesta intorno a pH 4 favorendo una buona resistenza a soluzioni acide. Tuttavia è azzardato comunque pensare che acidi fortemente concentrati non danneggino la struttura del mais, soprattutto se l'azione avviene ad alte temperature e per tempi prolungati.

L'esposizione a solventi basici in base al pH del materiale lascia presagire un danneggiamento importante.

Non esistono invece analisi o studi che spiegano la resistenza a solventi per quanto riguarda il trinciato di mais secco. La differenza di condizioni di conservazione non permette la comparazione con il trinciato umido da trincea e la composizione chimica molto eterogenea, la quale vede in gioco anche una forte componente amidacea, non ne permette una facile comparazione con altri tipi di materiali vegetali.

### Altre proprietà

Sono state raggruppate in questo paragrafo alcune proprietà del trinciato di mais come quelle termiche, meccaniche e di resistenza al fuoco, le quali sono fondamentali per caratterizzare un materiale ma delle quali non

si hanno informazioni approfondite; per molte non esistono studi che le approfondiscono e come già accennato, comparazioni con altri materiali risultano complicate se non azzardate.

Per quanto riguarda le proprietà termiche del trinciato di mais, non ci sono informazioni riguardanti la trasmissione del calore ed il valore del calore specifico. Si potrebbe ipotizzare una resistenza al calore elevata sulla base dei materiali cellulósici, ma la componente notevole di amido rappresenta un'incognita. Differenze comportamentali potrebbero presentarsi tra insilato umido e trinciato secco.

Dall'analisi delle caratteristiche meccaniche dell'insilato si evidenziano caratteristiche migliori per l'insilato umido mentre per il trinciato secco le proprietà meccaniche non offrono buoni risultati. La dimostrazione più evidente si ha durante l'insilamento in trincea, quando un insilato garantisce buone compressioni ed alte densità della massa mentre trinciati più secchi faticano a resistere ai forti schiacciamenti del silo. Ci si aspetta di trovare inoltre rigidità, poca resilienza, bassi valori di elasticità e di comportamento a flessione qualora il trinciato venga essiccato, mentre migliorerebbero i valori indicati con un trinciato umido.

Il comportamento al fuoco del trinciato di mais secco come la maggioranza dei vegetali sicuramente non è ottimale, ma

### Grafico 4 - Le proprietà principali del trinciato di mais



- *Facilmente infiammabile se non compresso ad alte densità*
- *Resistenza ad elevate compressioni che comportano densità molto alte*
- *Resistente a soluzioni acide*
- *Attaccato da soluzioni alcaline*

risulta un materiale facilmente infiammabile; è considerato un buon combustibile in tutte le sue parti ed aumenta la sua resistenza al fuoco con l'aumentare della sua umidità interna. La facilità di combustione diminuisce come già visto per la paglia di riso, qualora il trinciato venga posto in prodotti a forte compressione e quindi con un aumento di densità.

Molti impianti energetici per la produzione di energia termica o elettrica, sfruttano la facilità di combustione del trinciato di mais, da cui si trae anche un distinto *potere calorifico*<sup>18</sup>, che viene sempre riferito rispetto alla sostanza secca del trinciato, e vale per la granella circa 18 MJ/kg e per tutte le altre parti della pianta varia da 16,5 a 17,5 MJ/kg.

.....

<sup>18</sup> Si definisce come *potere calorifico* l'energia (espressa in MJ) che si può ricavare dalla combustione completa di una massa unitaria di combustibile (espresso in kg). Si può indicare come l'elemento che meglio di ogni altro caratterizza il valore di un combustibile.



# **RESIDUI TESSILI DA LAVORAZIONE**

Le polveri tessili laniere

6



**Figura 1** - Polveri tessili laniere

Nel capitolo corrente viene posta in esame la produzione delle polveri tessili ad alto contenuto di fibra cheratinica partendo da una analisi esaustiva della filiera dell'industria tessile laniera, responsabile di questo tipo di residuo lungo l'intero ciclo produttivo.

Infatti, per avere un residuo di questo tipo ed il più possibile omogeneo bisogna restringere il campo di analisi rispetto all'intero comparto tessile, attingendo esclusivamente da un settore specifico che lavori prettamente materie prime naturali e cheratiniche (lana e altri peli lanosi).

## 6.1 L'INDUSTRIA TESSILE LANIERA

Viene analizzata in questo paragrafo l'industria del tessile laniero la quale è *un comparto specifico della manifattura tessile che prende in considerazione l'insieme dei processi che trattano principalmente fibre tessili di lana di pecora (o altre fibre tessili animali considerate nobili come il cashmere, l'angora, la vigogna ecc...)* per la produzione di prodotti tessili. Il tessile laniero è un comparto tradizionale, storicamente concentrato nella produzione di *filati*<sup>1</sup> e *tessuti*<sup>2</sup> di elevato pregio, utilizzati successivamente per la realizzazione di capi d'abbigliamento maschile o femminile a taglio classico. È diffuso in modo stabile in tutto il mondo, nonostante negli ultimi decenni sia stato registrato un graduale *spostamento antropologico dei consumi*<sup>3</sup> che ha, di fatto, causato perdite di quote numerose a questo mercato.

Nello scenario attuale a livello mondiale, tra i leader della filiera tessile laniera troviamo la Cina e l'Italia, seguite da altri Paesi come l'India, gli Stati Uniti, la Germania, l'Iran, il Regno Unito, il Giappone, la Repubblica Ceca e la Turchia. L'Italia fabbrica annualmente, secondo i dati

nazionali aggiornati al 2018 dell'ISTAT, circa 140.000 tonnellate di prodotti tessili lanieri filati o intermedi e circa 135.000.000 di m<sup>2</sup> di merce tessuta; la produzione di filati e tessuti in lana è dislocata quasi esclusivamente in Piemonte e Toscana (realtà meno importanti si trovano anche in Veneto ed Emilia Romagna) nei due distretti industriali di Biella e di Prato.

La manifattura laniera a livello nazionale è considerata l'attività tessile maggiormente diffusa, contribuendo ad oltre il 10% della produzione e del fatturato del comparto tessile.

### 6.1.1 La produzione di un tessile laniero

La produzione di un tessile laniero si può ottenere mediante due tipologie di cicli produttivi, che si differenziano tra loro in base alla materia prima che viene utilizzata, alle operazioni industriali effettuate ed alle caratteristiche che il prodotto finale presenta. Si distinguono:

- *ciclo laniero pettinato*: è il ciclo laniero per eccellenza che si occupa della lavorazione della lana sucida (raramente si importano prodotti già lavati) con diversa origine e diverse caratteristiche in base alla partita, proveniente dalla tosatura di animali allevati in allevamenti dedicati. È il processo produttivo

.....

<sup>1</sup> Un filato è un insieme di fibre tenute assieme tramite torsione. Deriva dall'operazione di filatura e può essere costituito dallo stesso tipo di fibra (puro) o utilizzando fibre diverse (misto).

<sup>2</sup> Si intende per tessuto o superficie tessile, un prodotto omogeneo, morbido e pieghevole, ottenuto attraverso l'intreccio di filati o attraverso coesione delle fibre. Ci sono diversi metodi per ottenere un tessuto, il più diffuso nel campo del tessile laniero è la tessitura tradizionale a telaio, mediante l'intreccio di filati di ordito (verticali) e di trama (orizzontali).

<sup>3</sup> Negli ultimi decenni si è affermato un progressivo spostamento verso il consumo di una tipologia di abbigliamento più informale e low cost, realizzato con fibre generalmente sintetiche o vegetali. Nonostante questo fenomeno abbia di fatto sostituito nel vestiario comune i capi tipicamente lanieri a taglio classico e formale, questi ultimi grazie alla loro tradizione e qualità mantengono ancora una buona richiesta ed un ottimo mercato.

## 6. Residui tessili da lavorazione

in cui è maggiormente specializzato il *distretto tessile biellese*<sup>4</sup> e la complessa sequenza delle operazioni che solitamente vengono realizzate sono (in ordine cronologico): cernita, sgrossatura (pre apertura), mischia, apertura e battitura, lavaggio, essiccazione, ensimaggio (o oliatura), cardatura, stiro riunire, preparazione alla pettinatura, pettinatura, post pettinatura, preparazione alla filatura, filatura, eventuale roccatura, ritorcitura e vaporizzo, orditura e tessitura tradizionale.

Per semplificare, le macro-fasi in cui possiamo dividere il ciclo pettinato della lana sono il lavaggio, la cardatura, la pettinatura, la filatura e la tessitura, effettuate solitamente o all'interno di singoli stabilimenti terzi specializzati in una fase produttiva (ad esempio pettinature, filature pettinate, tessiture ecc...) oppure in aziende le quali ospitano all'interno di uno stesso stabilimento la parte prevalente del processo (i lanifici);

*-ciclo laniero cardato:* destinato alla lavorazione di fibre corte (limite di lunghezza teorico di circa 4 cm) di vario tipo e provenienza. Vengono convogliati in questo processo spesso fibre di origine eterogenea (non solo di lana), provenienti da cascami, fibre rigenerate, fibre nuove a lunghezza limitata. È il processo produttivo in cui è maggiormente specializzato il distretto tessile pratese e la complessa sequenza delle operazioni che solitamente vengono realizzate sono (in ordine cronologico): apertura delle balle, depolverizzazione (battitura), apertura, ensimaggio, miscelazione, prelievo, cardatura, filatura, eventuale roccatura o ritorcitura e

.....

<sup>4</sup> Il distretto di Biella è attualmente uno dei maggiori poli lanieri del mondo, altamente specializzato nella produzione di filati e tessuti di alta qualità in lana ed altre fibre pregiate lanose.

Secondo i dati forniti in uno studio specifico realizzato dall'ARPA, nel biellese si concentrano oggi il 65% della capacità produttiva nazionale del comparto pettinatura, il 63% delle turbine di filatura ed il 24% dei telai.



**Figura 2** - La produzione di un tessile laniero  
(Fotografia di Oscar Aguilar Elias da Unsplash)

vaporizzo, orditura e tessitura tradizionale o di maglieria.

Per semplificare, le macro-fasi in cui possiamo dividere il ciclo laniero cardato sono la cardatura, la filatura e la tessitura praticate generalmente all'interno di singoli stabilimenti specializzati in una singola fase produttiva (ad esempio filature cardate, tessiture tradizionali, maglierie ecc...).

Comunemente ad entrambi i cicli vengono fatte operazioni ausiliarie per migliorare la qualità, l'aspetto e le prestazioni finali dei materiali tessili in lavorazione. Queste operazioni sono le *nobilitazioni* per cui si intendono i processi di tintura ed il finissaggio.

Le nobilitazioni sono molto variegate, ne esistono molte tipologie e possono essere effettuate, in base al risultato desiderato ed alla necessità, lungo l'intero ciclo di lavorazione, direttamente su fibra in fiocco, su filato o su tessuto per quanto riguarda la tintura, mentre i finissaggi sono realizzati a fine ciclo su un prodotto tessuto o su capo finito.

Vengono descritte in seguito alcune operazioni del comparto di tintura e di finissaggio solitamente realizzate in aziende terziste specializzate in specifiche lavorazioni oppure in aziende che offrono una gamma di servizi più ampia (aziende di tintoria e finissaggio):

- *operazioni di tintoria*: stampa in filo, stampa in matassa, stampa in tops (o nastri di fibre), tintura in matassa, tintura in rocca, tintura in tops e tintura in pezza;

- *operazioni di finissaggio*: garzatura, cimatura, bruciapelo, pressatura, calandratura, decatissaggio, vaporizzazione, lavaggio, carbonizzo, follatura, fissatura, asciugatura in pentair e asciugatura in rameuse. Si suddividono principalmente in finissaggi ad umido e finissaggi a secco.

## 6.1.2 Sottoprodotti dell'industria tessile laniera

Il complesso ciclo di lavorazioni attuato nelle filiere del comparto laniero, in accordo a quanto succede lungo tutta l'industria tessile, causa un numero di residui tessili svariati e sicuramente rilevanti; il loro riutilizzo in altri processi produttivi, nonostante alcuni riscontrino un certo interesse commerciale, non è scontato.

Si utilizza la seguente classificazione:

- *residui fibrosi da lavorazione*, originati lungo la maggioranza delle fasi di tutti i cicli lanieri. Spesso questi residui hanno un valore commerciale, vengono infatti venduti come sottoprodotti ad aziende terze (prevalentemente tessili) che le utilizzano come materie prime seconde all'interno dei loro cicli produttivi.

Questa classe di residui è disomogenea, in quanto si intendono come fibrosi tutti i residui composti da fibre di qualsiasi grandezza ed in qualsiasi conformazione. Tra le tipologie più numerose e frequenti si possono indicare le seguenti categorie: cascami di lavorazione, cimosse, e polveri di microfibra.

I cascami di lavorazione si ottengono fondamentalmente lungo il processo di filatura oppure in roccatura o ritorcatura e sono diversi in base alla fase. Si realizzano ad esempio cascami costituiti da fibre corte e da *parti vegetali*<sup>5</sup> (chiamati in base al tipo lappole, bottoni, sottocarda, pettinacce o blousse ecc...) nelle operazioni di cardatura e pettinatura, mentre abbiamo cascami di nastri di fibre (tops) o di filato (chiamati in base al tipo filandra, anelli, laps, pneumafil ecc...) durante

.....

<sup>5</sup> I residui di fibra contaminata da parti vegetali sono recuperati ed avviati al riutilizzo, attraverso l'operazione di carbonizzo, ovvero un bagno in acido solforico che elimina la componente vegetale e non attacca la fibra cheratinica.

## 6. Residui tessili da lavorazione

l'operazione di filatura e solo del secondo genere nelle fasi di roccatura e ritorcitura. Il riutilizzo dei cascami nell'industria tessile come sottoprodotto è usuale.

Con cimose si intendono i due bordi laterali di un tessuto, realizzati appositamente per una funzione estetica e per apporre resistenza al tessuto durante le operazioni di finissaggio. Le cimose diventano un residuo quando vengono tagliate dal tessuto; questo avviene in alcuni tipi di finissaggio oppure direttamente in tessitura, quando, per creare le cimose di un tessuto, il telaio prevede la formazione di cimose ausiliarie (cimose a perdere o false cimose) tagliate e raccolte dalla stessa macchina subito dopo il tessimento. Le cimose dopo essere state imballate possono essere vendute e riutilizzate come sottoprodotti a seguito di sfibratura per creare fibre rigenerate se composte da fibre di pregio, oppure smaltite quando composte da fibre miste o fibre prive di interesse commerciale. L'analisi delle polveri di microfibra viene tralasciata in quanto trattate specificatamente nel paragrafo seguente.

- *residui da lavorazione di altra origine*, ottenuti durante le prime operazioni del ciclo pettinato, quando il materiale in lavorazione è greggio e presenta tutte le impurità acquisite durante l'allevamento dell'animale, oppure durante le operazioni di nobilitazione.

Nel primo caso abbiamo residui vegetali, residui terrosi grossolani o terrosi in polvere, derivanti dalle operazioni meccaniche di apertura e battitura, dove il vello di lana viene sgrassato ed aperto oppure residui fangosi e residui grassi, ottenuti dal processo di depurazione delle acque reflue di lavaggio della lana sucida. Sono tipologie di scarti che vengono prodotti tipicamente in un impianto di pettinatura e di

cui si prevede comunemente lo smaltimento, fatta eccezione del grasso di lana (estratto nella fase di lavaggio) il quale viene venduto come sottoprodotto ad aziende cosmetiche e farmaceutiche.

Vengono citati, per completezza, i residui da nobilitazione ricavati negli stabilimenti di tintoria e finissaggio, come tinture e pigmenti contenenti sostanze pericolose e solventi o residui contenenti solventi organici, i quali vengono smaltiti come rifiuti pericolosi. Le acque reflue di scarico utilizzate per i processi dei bagni di tintura e per i finissaggi, hanno solitamente un carico inquinante elevato e vengono riutilizzate nello stabilimento o scaricate in corsi idrici a seguito di una attenta depurazione.

### 6.2 LE POLVERI TESSILI LANIERE

Le polveri tessili laniera sono residui produttivi di natura polverosa della filiera tessile laniera, identificate precisamente come *un insieme di microfibre a lunghezza variabile e poco percepibile, generate da operazioni meccaniche lungo l'intero processo, prevalentemente negli stabilimenti di pettinatura e filatura (sia cardata che pettinata) dai cicli di carderia, pettinatura, filatura, roccatura e ritorcitura oppure negli stabilimenti di tintoria e finissaggio mediante cicli di trattamento superficiale sui tessuti*<sup>6</sup>. Le polveri di microfibra tessile vengono recuperate

.....  
<sup>6</sup> Le polveri di microfibra si ottengono anche, qualora sia presente, dalla fase di sfilacciatura ed in maniera minore negli stabilimenti di tessitura attraverso le operazioni di orditura e tessitura vera e propria.

<sup>7</sup> All'interno di uno stabilimento tessile è necessario mantenere un ricambio d'aria costante data la presenza di aria polverosa dovuta alla dispersione delle polveri generate durante le lavorazioni tessili. I ricambi d'aria vengono realizzati attraverso sistemi di ventilazione meccanica posti in ogni reparto (e talvolta collegati anche direttamente ai singoli macchinari inquinanti) che hanno il compito di aspirare l'aria interna con residui polverosi mediante tubazioni ventilate e di abbattere le microfibre; questo è possibile mediante una tecnologia di filtrazione che separa le polveri dall'aria facendole convogliare ed accumulare in appositi contenitori o sacchi posti solitamente al di fuori dei locali di produzione.



**Figura 3** - Impianti di aspirazione di una azienda tessile

.....

mediante efficienti *impianti di aspirazione e filtrazione* <sup>7</sup> posti nei locali delle aziende che convogliano questo scarto in una parte terminale esterna.

Per la realizzazione dei pannelli *AGROTES* sono state utilizzate polveri tessili provenienti da *sistemi di aspirazione dell'azienda Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a.*<sup>8</sup> la quale composizione viene trattata specificatamente nel paragrafo successivo.

### 6.2.1 Struttura e composizione chimica

Prima di procedere con l'analisi di questo residuo è necessario un preambolo.

Le polveri tessili laniere sono caratterizzate da un raggruppamento di microfibre di lunghezza limitata tale da non permetterne un riutilizzo in campo tessile. La loro composizione non si può considerare omogenea ma è mista, infatti, anche se prevalentemente di lana di pecora (e altre fibre nobili) l'origine della materia prima lavorata che causa la creazione dell'agglomerato di microfibre, non sempre è la stessa. Si consideri che l'industria laniera

è solita a produrre manufatti a tutti i livelli che presentano, per determinati motivi prestazionali, l'insieme misto di pelo animale in unione ad altre fibre, siano esse animali, vegetali, sintetiche o artificiali.

È molto difficile dunque stabilire una percentuale compositiva precisa e costante delle polveri di questo settore in quanto dipendente dalla variabilità della materia lavorata all'interno degli stabilimenti da cui provengono.

Per semplificare è possibile qualificare le polveri tessili laniere come polveri tessili ad elevato contenuto di microfibre cheratiniche dove la percentuale di queste ultime all'interno di una partita di residui è decisamente predominante e talvolta assoluta (nel caso di alcuni lanifici) rispetto ad altre microfibre di altra provenienza. La miscela di polveri tessili utilizzata per i campioni sperimentali proposti è composta dal 90/95% circa di peli lanosi e per il restante 5/10% da un mix di altre microfibre animali (seta), vegetali (cotone e lino) e chimiche (viscosa, poliestere e poliammide). È stato possibile avere un'idea compositiva dell'aggregato grazie alla dichiarazione fornita dal produttore dello scarto (Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a) sul materiale statisticamente processato all'interno degli stabilimenti.

La composizione della miscela di polveri dichiarata, è stata confermata da alcune analisi a microscopio elettronico svolte presso il laboratorio del CNR ISMAC di Biella.

È stata rilevata inoltre nell'agglomerato la presenza di una sostanza oleosa, tipica in questo tipo di residui. Molte polveri tessili infatti entrano in contatto con gli ingranaggi dei

.....

<sup>8</sup> Gli impianti dell'azienda sono collegati ai macchinari di asciugatura (in pentair, in ramouse piana e a percorsi), di cimatura e di garzatura.

**6. Residui tessili da lavorazione**

**Grafico 1** - Sintetizzazione grafica delle produzioni tessili laniere e dei relativi residui.

**TIPI DI RESIDUI**

- Ca** Cascami di lavorazione
- Ci** Cimosse
- Po** Polveri di microfibra
- Ao** Residui di altra origine

**• CICLO PETTINATO**

Sequenza delle macro-fasi e delle operazioni



**• CICLO CARDATO**

Sequenza delle macro-fasi e delle operazioni



**• NOBILITAZIONI**

Indicazione delle macro-fasi e delle operazioni



**Po** Le polveri utilizzate per i pannelli **AGROTESs** sono derivanti dagli impianti di aspirazione di una azienda di finissaggio

macchinari prima di essere aspirate dai sistemi di ventilazione, portandosi dietro una parte di questo oleante commerciale utilizzato per la lubrificazione dei macchinari tessili. Per un adeguato approfondimento a livello chimico e strutturale dell'insieme di microfibre è inevitabile analizzare grossomodo ogni classe fibrosa che lo compone, ognuna con

caratteristiche peculiari differenti. In seguito:  
 - *veli lanosi*: l'esame della porzione cheratinica è stata già ampiamente analizzata nei capitoli precedenti, per cui si rimanda alla lettura del capitolo specifico dedicato alla lana;  
 - *altre fibre di origine animale*: si intendono fibre di seta, le quali sono chimicamente costituite in gran parte da proteine (70/80% di fibroina

e 20/28% di sericina) e per il resto (2/3%) da grassi animali, cere e sostanze minerali. La seta strutturalmente è formata da due bavelle di fibroina dalle pareti lisce, saldate insieme da una guaina di sericina secreta dal baco da seta in contemporanea ai filamenti;

- *fibre vegetali*: ovvero fibre come il cotone ed il lino, con una composizione chimica prevalente di cellulosa (tra il 75% ed il 90% in base alla fibra) unita a lignina, pectine, grassi e sali minerali. Il cotone ed il lino si presentano strutturalmente come dei nastri lisci a sezione più o meno cava; il primo ha una forma di un ovale irregolare, mentre il secondo ha sezione poligonale;

- *fibre chimiche*: sono le fibre prodotte dall'uomo, classificate in artificiali se il polimero di partenza è naturale (di cellulosa), o sintetiche se il polimero utilizzato si ottiene tramite sintetizzazione del petrolio. La fibra artificiale principale è la viscosa mentre le fibre sintetiche più utilizzate sono il poliestere, la poliammide e le fibre elastomere. Strutturalmente si presentano entrambe come filamenti lisci a sezione piena e con forme dipendenti dalla sezione della filiera utilizzata per l'estrusione in filatura.

### 6.2.2 Il destino delle polveri tessili laniere

Avere dati totalitari sulla quantità di polveri tessili laniere prodotte annualmente sia sul territorio nazionale e sia a livello distrettuale o regionale è impresa molto ardua.

La modalità su cui procedere per avere un'idea sulle quantità di polveri tessili in gioco, consiste nel reperire i dati direttamente dalle aziende produttrici di tali scarti.

Tenendo conto che esiste una variabilità produttiva che ogni azienda presenta in base

alla filiera produttiva, esistono alcuni studi effettuati su campioni di aziende appartenenti al distretto tessile biellese, come quello elaborato da ARPA Piemonte dal titolo *"Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero"*, che forniscono le quantità relative alle singole categorie di residui tessili lanieri prodotti dalle realtà analizzate.

Sulla base di questo studio si può ricavare a titolo esemplificativo che in media un'azienda (non specificata ma probabilmente un lanificio di dimensioni medio/grandi) che presenta la maggioranza del ciclo pettinato con le fasi di filatura (a partire da operazioni successive alla pettinatura), di tessitura, di tintoria e di finissaggio (carbonizzo, lavaggio, follatura, asciugatura, cimatura, bruciapelo, decatissaggio, vaporizzo) produce una quantità di polveri tessili laniere annue pari a circa lo 0,5% del peso della materia prima trattata equivalente a circa 11.200 kg/annui di polveri su 2.300 tonnellate di materia prima processata.

Sono invece ad esempio 2.000 kg/annui su 10.000 tonnellate di materiale lavorato (3.000.000 metri lineari di tessuto), le polveri tessili prodotte e dichiarate da un'impresa di medie dimensioni (Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a) specializzata esclusivamente nelle operazioni di nobilitazione; sono presenti, a scopo informativo nell'impianto di finissaggio i seguenti trattamenti superficiali: garzatura, ratinatura, smerigliatura, cimatura, decatissaggio, asciugatura (in pentair o in ramouse), follatura, lavaggio, garzatura, striccatura.

Si consideri che i dati mostrati, per essere esaustivi ai fini comparativi, andrebbero ponderati in base alla quantità di macchinari operativi che

## 6. Residui tessili da lavorazione

producono polveri nello stabilimento campione ed in base alle ore annue che questi lavorano; tuttavia sono un buon punto di partenza che ci fa intuire, le discrete quantità di residuo disponibili all'interno della filiera tessile laniera. La polvere tessile ad alto contenuto di microfibra cheratinica, a seguito dell'imballaggio e dello stoccaggio in appositi magazzini delle aziende può:

- *essere smaltita*, attraverso la consegna ad apposite imprese, come rifiuti speciali non pericolosi a seguito dell'assegnazione del codice CER "04.02.22 rifiuti da fibre tessili lavorate", andando ad incidere sui costi aziendali per circa 1- 1,50 euro/kg.

Ad oggi questa purtroppo è l'opzione più percorsa, poiché sono veramente pochi gli sbocchi di utilizzo di questo scarto;

- *essere venduta come sottoprodotto* ad intermediari/commercianti o direttamente ad imprese italiane o estere che ne prevedono il riutilizzo in settori differenti da quello di provenienza. Le cifre di vendita di questo residuo sono molto basse perché sono poco appetibili sul mercato e sono ancora molto poche attualmente le realtà ad esso interessate. Le potenzialità sono elevate e non mancano alcuni sbocchi e progetti interessanti, che potrebbero coinvolgere questo residuo (considerato un peso per chi lo produce) all'interno di processi di riuso, in ottica di economia circolare e riduzione dei rifiuti.

### 6.2.3 Alcuni campi di utilizzo

L'impossibilità di riutilizzare questo residuo, a causa della sua struttura troppo minuta, all'interno del settore dal quale proviene, come avviene per tutti gli altri residui tessili, pone il problema di crearne nuovi sbocchi settoriali di

mercato. Ad oggi, poche sono le realtà che hanno già avviato in concreto una filiera che metta a sistema questo scarto, ma l'interesse è dimostrato attraverso numerosi nuovi studi ed innovative ricerche lo coinvolgono.

Gli stimoli e le risposte migliori sembrano arrivare dal campo della bioedilizia ma non solo, esistono proposte di reimpiego (alcune già avviate) anche nel settore agricolo e nel comparto dell'ingegneria stradale.

In *bioedilizia* c'è un buon interesse verso questo di tipo scarto, pertanto sono in piedi *studi e ricerche*<sup>9</sup> che vedono il reimpiego di polveri di microfibra a composizione mista (e non necessariamente con una percentuale di peli lanosi) per rinforzi delle malte da intonaco e come materiali isolanti, mediante insufflaggio in intercapedini murarie o per la creazione di pannelli isolanti.

Esistono *altri utilizzi* che coinvolgono questo scarto ed a differenza della bioedilizia ad oggi sono attivi anche se con molte limitazioni.

Attualmente la polvere laniera può essere trattata per l'utilizzo diretto in agricoltura come fertilizzante, anche se la sua frequente composizione incerta ne frena l'espansione in questo settore. Spesso, come già indicato, si rischia infatti di avere al suo interno fibre inorganiche di tipo sintetico e ciò ne comporta una certa attenzione nell'impiego. Interessante potrebbe esserne l'impiego per la realizzazione di teli pacciamanti, anche se non sono stati trovati riscontri di ricerca in questo ambito e dunque attualmente può essere considerata una semplice digressione personale.

.....

<sup>9</sup> Ne è un esempio lo studio sui rifiuti tessili come soluzione alternativa ai materiali da costruzione, presentato al seguente link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812006332#aep-keywords-id10>.

**Grafico 1** - Grafico riassuntivo della filiera tessile laniera e delle polveri tessili laniere



**“Residui produttivi** di natura polverosa **della filiera tessile laniera**, identificati come insieme di microfibre a lunghezza variabile e poco percepibile, generati da numerose operazioni meccaniche lungo l'intero processo. ”



- Bioedilizia** <.....  
*Rinforzi per malte da intonaco, materiali isolanti da insufflaggio o pannelli isolanti*
- Altri utilizzi** <.....  
*Settore agricolo e comparto dell'ingegneria civile*

Quali sono i principali settori di utilizzo? \*

\* Molti impieghi sono ancora in fase sperimentale

Qual'è il loro destino?

- 1** Smaltita legalmente  
*Consegnata ad apposite imprese con codice CER "04.02.22 rifiuti da fibre tessili lavorate"*
- € Costo di smaltimento = 1 - 1,50 euro/kg
- 2** **Venduta come sottoprodotto**  
*Ad intermediari/commercianti o direttamente ad imprese italiane*
- € Prezzo di vendita = molto basso (non rilevato)

## 6. Residui tessili da lavorazione

Se ne segnala inoltre l'utilizzo anche in ingegneria civile come rinforzo nella miscela del sottofondo stradale. Anche in questo caso, purtroppo, non sono state trovate conferme nella ricerca, ma la segnalazione di questo impiego arriva da un colloquio con imprenditori del settore tessile.

### 6.2.4 Proprietà principali

Si indicano come proseguimento le caratteristiche principali collegate alle polveri tessili laniera, quindi ad elevato contenuto cheratinico. I comportamenti e le proprietà fisico-chimiche che si riscontrano, sono principalmente influenzate dalla composizione chimica e dalla grandezza delle microfibre che formano il conglomerato, oltre che dalla tipologia di utilizzo che ne viene fatto.

### Proprietà morfologiche

La valutazione delle polveri tessili di microfibra laniera dal punto di vista delle proprietà morfologiche può avvenire, in modo oggettivo, secondo i parametri di finezza, lunghezza e colore.

Per definire la finezza, data la composizione delle polveri laniera, si può considerare la sezione delle microfibre simile a quella delle lane tipicamente lavorate all'interno della filiera laniera, la quale si aggira tra i valori che partono da 12-13  $\mu\text{m}$  per arrivare a valori massimi di 25-30  $\mu\text{m}$ .

A titolo informativo si indica che, le finezze delle principali altre classi di fibre riscontrabili negli agglomerati di questo residuo, rispettano grosso modo lo stesso range di grossezza.

La lunghezza delle microfibre che compongono le polveri non è uniforme e cambia relativamente in base alla provenienza <sup>10</sup>, ovvero in base

al macchinario ed al ciclo che le produce. È comunque possibile affermare guardando questi scarti che non sono mai formati da elementi superiori ad una lunghezza di 1 cm. Questo valore può essere considerato estremo poiché le microfibre hanno solitamente una lunghezza media molto inferiore (qualche millimetro).

Non esiste un colore che identifica lo scarto tessile polveroso perché, a prescindere dall'origine delle microfibre dell'agglomerato, è dipendente esclusivamente dal colore di tintura che è stato applicato (lungo l'intera filiera) alle varie partite.

I colori delle polveri utilizzate per la realizzazione dei pannelli *AGROTESs* ne sono una dimostrazione, infatti nonostante un colore blu scuro prevalente, si denota la presenza di fibre bianche, verde bandiera, rosse e marrone cammello, evidentemente provenienti dal trattamento superficiale di manufatti di partite differenti.

### Densità

La densità delle polveri tessili laniera dipende fortemente dalla composizione percentuale dell'insieme di microfibre e dalla compressione che ne viene applicata in fase di stoccaggio e di utilizzo.

Le polveri ad elevato contenuto di peli lanosi utilizzate in questa ricerca hanno una densità di circa 80  $\text{kg}/\text{m}^3$ , quando le microfibre non sono *pressate* <sup>11</sup> e sono secche, quindi in condizioni di umidità normali. Qualora vengano poste sotto pressione il valore indicato può aumentare considerevolmente fino a duplicare.

<sup>10</sup> Ad esempio il processo di sfilacciatura produce uno scarto polveroso decisamente più lungo rispetto alle altre fasi.

<sup>11</sup> Si tenga presente che il residuo allo stato normale, si presenta con microfibre legate tra loro da una forte adesione.

## Altre proprietà

Partendo dal presupposto che la caratterizzazione di un materiale talvolta eterogeneo non è semplice, molte proprietà generali di questi residui, possono essere assimilate a quelle che presentano le fibre di peli lanosi, come la lana di pecora, ampiamente analizzata in un capitolo precedente ad essa dedicato. Tuttavia, la mancanza di studi che approfondiscono le proprietà delle polveri tessili e soprattutto quelle dell'industria laniera, purtroppo non facilitano la ricerca.

Resta infatti da chiarire se influisca in modo significativo, sulle caratteristiche dell'agglomerato, la percentuale di materia prima diversa da quella dei peli lanosi poiché ogni fibra in base alla propria provenienza ha un suo comportamento chimico-fisico specifico. Sicuramente si può immaginare come questo rischio sia direttamente proporzionale alla quantità di microfibre diverse da quelle cheratiniche presenti nella partita di polveri.

Il ragionamento introduttivo, che identifica le polveri tessili dal punto di vista comportamentale equivalente a quello dei peli lanosi, è sicuramente corretto per quanto concerne le proprietà dipendenti dalla composizione chimica della microfibra. C'è da dire, però, che alcune caratteristiche derivano principalmente dalla struttura morfologica delle microfibre. Ne sono un esempio le proprietà meccaniche

le quali date le dimensioni molto limitate delle microfibre non è possibile riscontrare per questi scarti.

Molto interessanti da questo punto di vista sono anche le caratteristiche esplosive delle polveri, infatti se disperse all'interno di uno stabilimento industriale e non correttamente aspirate ed accumulate dai sistemi di aspirazione, oltre a creare problemi di igiene, possono essere la causa di eventi esplosivi.

Nonostante sia ormai dimostrato che le particelle fibrose tessili hanno un livello di rischio minore rispetto ad altri tipi di polveri, in passato sono state comunque numerose le esplosioni da loro causate negli stabilimenti tessili (l'ultima in ordine cronologico è avvenuta proprio nel distretto biellese).

Il rischio di esplosione è dipendente da una serie di fattori concomitanti ed avviene quando la polvere (combustibile) è dispersa nell'aria (comburente) creando una nube polverosa che entra in contatto con un elemento di combustione (innesco).

### Grafico 3 - Le proprietà principali delle polveri tessili laniere



- *Colore dipendente dal colore di tintura della fibra*
- *Proprietà chimiche riconducibili a quelle dei peli lanosi*
- *Elevato rischio igienico ed esplosivo se non correttamente aspirate*



**PANNELLI  
SPERIMENTALI**  
AGROTESs

**7**



**Figura 1** - Pannello AGROTÈSS A (lana Italiana e paglia di riso)



**Figura 2** - Pannello AGROTESS-B (lana italiana e trinciato di mais)



**Figura 3** - Pannello AGROTESs C (polveri tessili laniere)



**Figura 4** - Pannello AGROTESs C1 (polveri tessili laniere)

## 7. Pannelli sperimentali

Vengono presentati in seguito il processo produttivo, le linee guida ed i risultati dei primi test di laboratorio dei pannelli che sono stati nominati con l'acronimo *AGROTESs*<sup>1</sup>. Sono pannelli sperimentali compositi e rigidi per l'isolamento termoacustico degli edifici, realizzati con alcuni residui o prodotti (per cui si può prospettare un utilizzo migliore rispetto a quello attuale) delle filiere agroalimentari e tessili piemontesi, con l'obiettivo di implementare e sviluppare precedenti ricerche già svolte.

### 7.1 EVOLUZIONE DEL PROCESSO

Il processo di realizzazione dei pannelli proposti nasce da precedenti progetti di ricerca avviati dal *DAD del Politecnico di Torino*<sup>2</sup>, in collaborazione con il *CNR ISMAC di Biella*<sup>3</sup> ed associazioni e realtà industriali del territorio piemontese<sup>4</sup>. Le sperimentazioni da loro effettuate, si sono tradotte nello sviluppo, realizzazione ed industrializzazione inizialmente di Cartonlana (pannelli isolanti 100% lana autoctona piemontese) e successivamente di FITNESs (pannelli isolanti che combinano in ugual misura lana autoctona piemontese con fibre di canapa). In particolare, attraverso un processo di produzione che sfrutta, mediante la fusione termochimica, la cheratina delle fibre di lana come legante, si sono potuti ottenere due prodotti completamente naturali con caratteristiche innovative sia dal punto di vista della rigidità e sia del basso impatto ambientale dell'intero ciclo vita. Le prestazioni termiche ed acustiche offerte risultano in linea con i materiali isolanti naturali simili presenti attualmente sul mercato.

Recentemente, dai progetti Cartonlana e soprattutto di FITNESs, sono state condotte ulteriori sperimentazioni che hanno portato

a studiare e testare in laboratorio nuovi scarti naturali agroalimentari utilizzabili con la lana, come alternativa alla canapa. Campioni di prova sono stati realizzati in laboratorio con: segatura di legno, corteccia di castagno, brattee di mais, residuo di pianta di fagioli secchi e gusci di mandorle.

Sulla base di queste esperienze, le quali hanno suscitato interesse e buoni risultati, lo studio dei pannelli *AGROTESs* cerca di porsi in continuità con il percorso già avviato, implementandolo. Ciò avviene attraverso ulteriori sviluppi nella ricerca di materiali che, aggregati alla lana, possano rispondere positivamente al processo, mantenendone invariate le caratteristiche principali e innovative, col fine di ottenere prodotti dalle buone caratteristiche isolanti. Risulta logico come il processo di produzione dei pannelli debba essere sempre valutato ed adattato in base alle nuove caratteristiche dei materiali selezionati.

L'utilizzo di determinate materie prime combinate alla lana, come verificato dai precedenti studi, conferiscono rispetto ad un pannello puramente lanoso, rigidità e densità finali differenti, in base alle caratteristiche che presenta il materiale aggiunto come "carica". Il processo termochimico di produzione, opportunamente svolto, permette di mantenere le principali caratteristiche chimiche e fisiche di entrambi i materiali usati, ottenendo così un

<sup>1</sup> Il nome *AGROTESs* deriva dall'unione delle abbreviazioni di agroalimentare (*AGRO*) e tessile (*TESs*), filiere da cui derivano i residui o prodotti utilizzati per i pannelli isolanti della ricerca.

<sup>2</sup> Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino

<sup>3</sup> Istituto per lo Studio delle Macromolecole (*ISMAC*) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (*CNR*)

<sup>4</sup> *Assocanapa* (Associazione Nazionale per la canapicoltura in Italia) e *Davifil s.r.l.* (azienda tessile biellese) titolare della produzione e commercializzazione di *Cartonlana* e *FITNESs*.

Alcune sperimentazioni sono state avanzate anche con il progetto *RiceRes* della Fondazione *Cariplo*.

prodotto finale che le combina.

Si deve tenere presente tuttavia che il mix design dei materiali non sempre è risultato positivo al fine della realizzazione di materiali isolanti da utilizzare nel mondo delle costruzioni sostenibili. Le caratteristiche ottenute a volte non soddisfano infatti le prestazioni richieste in questo campo.

## 7.2 LINEE GUIDA DEL PROCESSO, UNA “RICETTA APERTA”

Come indicato in precedenza, il sistema produttivo dei pannelli consiste principalmente nella miscela di residui o prodotti (per cui si può prospettare un utilizzo migliore rispetto a quello attuale) derivanti da sistemi produttivi locali con lana autoctona grossolana ed un successivo processo di *idrolisi alcalina della cheratina in bagno chimico*<sup>5</sup> riscaldato. Il processo in soluzione agisce sulla parte cheratinica della lana sciogliendola e facendola diventare il collante del campione, il quale una volta asciugato presenterà ottima rigidità.

Il filo conduttore dell'intero percorso si può definire come una “ricetta aperta” che porta alla realizzazione di pannelli isolanti innovativi per l'edilizia attivando nuove catene e filiere produttive sostenibili a livello locale. Il modus operandi può essere replicato in varie realtà territoriali e prevede l'uso di materiali

immediatamente disponibili, a basso valore economico e che attualmente non trovano un utilizzo soddisfacente o completo sul mercato. La ricerca attualmente ha un focus territoriale che comprende geograficamente in prevalenza la regione Piemonte, ma sicuramente, sfruttando l'elevata quantità di materia prima presente ed utilizzabile in altre zone, il processo produttivo potrebbe adattarsi facilmente ad altre realtà regionali nazionali ed extranazionali, che abbiano a disposizione buone quantità di lane grossolane (o fibre lanose) e residui di produzione preferibilmente naturali (e non necessariamente agroalimentari).

I nuovi campioni *AGROTESs* quindi, in linea con quelli già sviluppati dal precedente gruppo di ricerca, sono formati da due componenti, proporzionalmente mescolati e trattati: una “matrice” (o collante) cheratinica ed una “carica” derivante da residuo o prodotto locale piemontese. Le cariche proposte sono state scelte in base ad alcuni principi da rispettare precedentemente fissati, che sono:

- *materiali di scarto che attualmente non abbiano alcun uso specifico sviluppato*, quindi destinati per la maggiore allo smaltimento e che provengano da sistemi di produzione esistenti sufficientemente diffusi nel territorio piemontese. Oppure *prodotti per il quale l'utilizzo attuale non soddisfa pienamente gli ampi criteri di sostenibilità* e per cui nuove prospettive risultano

### Grafico 1 - Spiegazione dell'acronimo AGROTESs

Filiere da cui derivano i residui o prodotti utilizzati per i pannelli sperimentali:



<sup>5</sup> Il peso del processo di idrolisi alcalina (o basica) della cheratina per la produzione di questi materiali isolanti, a livello di impatto ambientale è maggiore rispetto ad altri sistemi produttivi solitamente usati per la realizzazione di pannelli rigidi o semirigidi. Il maggior contenuto di energia primaria richiesta tuttavia, come dimostrato in “Fitness: sheep-wool and hemp sustainable insulation panels” (D. Bosia et al), viene compensato dal riutilizzo di materiali considerati a tutti gli effetti degli scarti provenienti da filiere locali. Ciò comporta una nuova immissione sul mercato di residui destinati allo smaltimento (talvolta illegale) ed un risparmio notevole anche sui bilanci dei trasporti. Si consideri che il processo è stato valutato esclusivamente a livello sperimentale di laboratorio, ma sicuramente è stato efficientato ed ottimizzato in scala industriale.

## 7. Pannelli sperimentali

migliorative rispetto alla condizione odierna, o ancora, *prodotti che il mercato non riesce ad includere nel commercio* a causa di determinati motivi diventando così rifiuti (ad esempio quantitativi prodotti troppo elevati rispetto alla richiesta);

- *materiali preferibilmente naturali*, in modo tale da facilitare lo smaltimento a fine vita del pannello edilizio;

- *materiali facilmente combinabili con le fibre di lana* e preferibilmente omogenei e fibrosi;

- *materiali già predisposti all'utilizzo*, con necessità quasi nulla di subire ulteriori operazioni di trasformazione per la creazione dei pannelli a "ricetta aperta". La richiesta di troppe operazioni complementari porterebbe all'aumento dei tempi di produzione e degli impatti ambientali (talvolta anche alla sperimentazione di nuovi macchinari o all'adattabilità di quelli esistenti);

- *materiali sufficientemente diffusi nel territorio piemontese* dal punto di vista quantitativo.

Presi in considerazione questi requisiti, per questa ricerca si è deciso di utilizzare, assieme alla fibra di lana autoctona piemontese, le seguenti cariche, ampiamente analizzate nelle loro prestazioni e caratteristiche nei capitoli precedenti e rispondenti ai criteri esposti: *paglia di riso, trinciato di mais e polveri tessili laniere ad alto contenuto di fibre cheratiniche*.

### 7.3 REALIZZAZIONE IN LABORATORIO

La realizzazione dei campioni sperimentali *AGROTESs*, avvenuta presso il laboratorio chimico del CNR ISMAC di Biella, ha visto l'adattamento del processo produttivo introdotto, ai materiali selezionati ed alle attrezzature presenti all'interno della struttura.

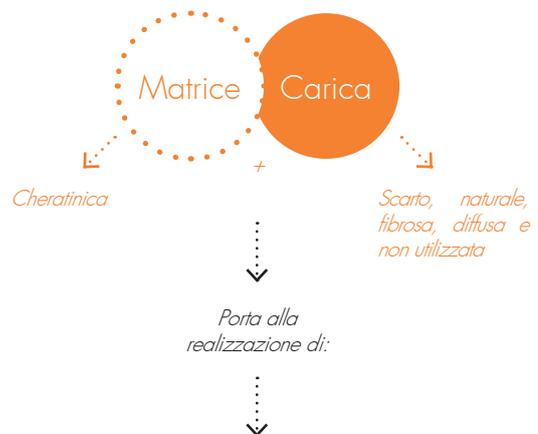
I parametri del processo produttivo infatti, (rapporto e quantità dei materiali costituenti, durata del

### Grafico 2 - Evoluzione del processo

- **DAD** (Politecnico di Torino)
- + • **CNR ISMAC** (Biella)
- + • **Realtà industriali ed associazioni** (Davifil s.r.l e Assocanapa)



Messa a punto di un **processo di produzione** basato su **idrolisi basica della cheratina** delle fibre di lana e sul concetto di "**Ricetta aperta**"



1

#### **Cartonlana**

*Pannelli isolanti 100% lana autoctona piemontese*

2

#### **FITNESs**

*Pannelli isolanti 50% lana autoctona piemontese e 50% fibre di canapa*

3

#### **Altri campioni**

*Pannelli isolanti con lana autoctona piemontese e segatura di legno, corteccia di castagno, brattee di mais, residuo di pianta di fagioli secchi e gusci di mandorle*

4

#### **AGROTESs**

*Pannelli isolanti con lana autoctona piemontese e paglia di riso, trinciato di mais e polveri tessili laniere*

trattamento, concentrazione della soluzione di soda caustica, tempo di essiccazione, ecc...) sono stati calibrati per ogni campione, attraverso alcune prove pilota preliminari e, sulla base delle dimensioni massime del pannello riproducibili con le attrezzature presenti nel laboratorio.

Il risultato di alcune sperimentazioni su campioni pilota di piccole dimensioni (5 cm x 5 cm), ha successivamente portato ad ottenere pannelli finali dalla *ricetta considerata ottimale*<sup>6</sup>, con grandezze (circa 20 cm x 15 cm) utili richieste per la realizzazione delle analisi termiche. Lo spessore di questi ultimi è variabile tra i 2,2 cm e i 3,5 cm in base al tipo di materia prima utilizzata.

I pannelli realizzati e successivamente esaminati attraverso prove termiche sono quattro e così rispettivamente nominati:

- *AGROTESs A*, con lana autoctona piemontese e paglia di riso;
- *AGROTESs B*, con lana autoctona piemontese e trinciato di mais;
- *AGROTESs C*, con polveri tessili lanieri (ad alto contenuto di fibre cheratiniche);
- *AGROTESs C1*, con polveri tessili lanieri (ad alto contenuto di fibre cheratiniche).

Come si può notare la diversità delle cariche utilizzate ha portato alla realizzazione, seppur secondo la stessa metodologia produttiva, di due macrocategorie di pannelli suddivisibili in:

- *coerenti alle precedenti sperimentazioni* (FITNESs e successive), ovvero che utilizzano residui agricoli da allevamento (la lana italiana) e residui o prodotti agricoli da coltivazione (paglia di riso e trinciato di mais). È il caso dei pannelli *AGROTESs A* e *AGROTESs B*;
- *innovativi rispetto alle precedenti sperimentazioni* (FITNESs e successive), ovvero che utilizzano esclusivamente residui tessili lanieri (polveri

tessili ad alto contenuto di cheratina) senza necessità di miscela con lana italiana che agisca da legante (base di ricerca per ulteriori studi futuri). È il caso dei pannelli *AGROTESs C* e *AGROTESs C1*;

Vengono descritti specificatamente in seguito, i processi di realizzazione in laboratorio delle due macrocategorie di pannelli oggetto di tesi, secondo lo schema procedurale eseguito, il quale è riassumibile in:

- *operazioni preliminari*;
- *realizzazione dei campioni di prova* (dimensioni 5 cm x 5 cm x 1 cm) propedeutici alla produzione del pannello ottimale;
- *realizzazione dei pannelli ottimali* (dimensioni 20 cm x 15 cm x spessore variabile).

### 7.3.1 I pannelli AGROTESs A - B

In seguito viene descritto il processo di realizzazione in laboratorio dei pannelli sperimentali coerenti alle precedenti sperimentazioni (FITNESs e successive), in fibre di lana italiana e paglia di riso (*AGROTESs A*) e fibre di lana italiana con trinciato di mais (*AGROTESs B*).

#### Operazioni preliminari

Il processo è iniziato con la scelta, il reperimento e la preparazione dei materiali di scarto da utilizzare come *matrice* e *carica*, selezionati in base al rispetto dei requisiti già esposti precedentemente.

Come matrice è stata utilizzata, nelle prove di questa ricerca, lana di pecora biellese, già disponibile presso i laboratori del CNR ISMAC

<sup>6</sup> Nonostante venga considerata nella nostra ricerca una ricetta ottimale, è da considerarsi sicuramente migliorabile in future ricerche e per eventuali realizzazioni industriali. Infatti, si sono ottenuti campioni finali sicuramente migliorabili, ma per questioni di tempistiche e per l'obiettivo di un lavoro di ricerca di tesi, si è valutato di selezionare le ricette che tra tutte le prove realizzate, davano i pannelli finali più interessanti.

## 7. Pannelli sperimentali

di Biella dai precedenti studi e prelevata direttamente da allevatori locali dopo una semplice operazione di lavaggio grossolano. La lana, per favorire la realizzazione dei pannelli, è stata tagliata manualmente con forbici durante la preparazione in laboratorio, ad una lunghezza variabile tra i 2 e 4 cm.

Dopo alcune analisi sulla filiera e sulle quantità disponibili, la scelta dei materiali da adoperare come cariche è ricaduta sulla paglia di riso, fornita dalla startup biellese *RiceHouse s.r.l.*<sup>7</sup> e sul trinciato di mais, prelevato presso l'azienda cuneese *Agrindustria Tecco s.r.l.*<sup>8</sup>.

Mentre il trinciato di mais, per la realizzazione dei pannelli, non ha necessitato di nessuna operazione aggiuntiva, la paglia di riso, nonostante fosse già stata fornita trinciata attraverso un passaggio in trinciapaglia, ha necessitato in fase di preparazione di un ulteriore taglio manuale con forbici, al fine di ridurre la lunghezza ad una misura variabile tra i 2 e 4 cm.

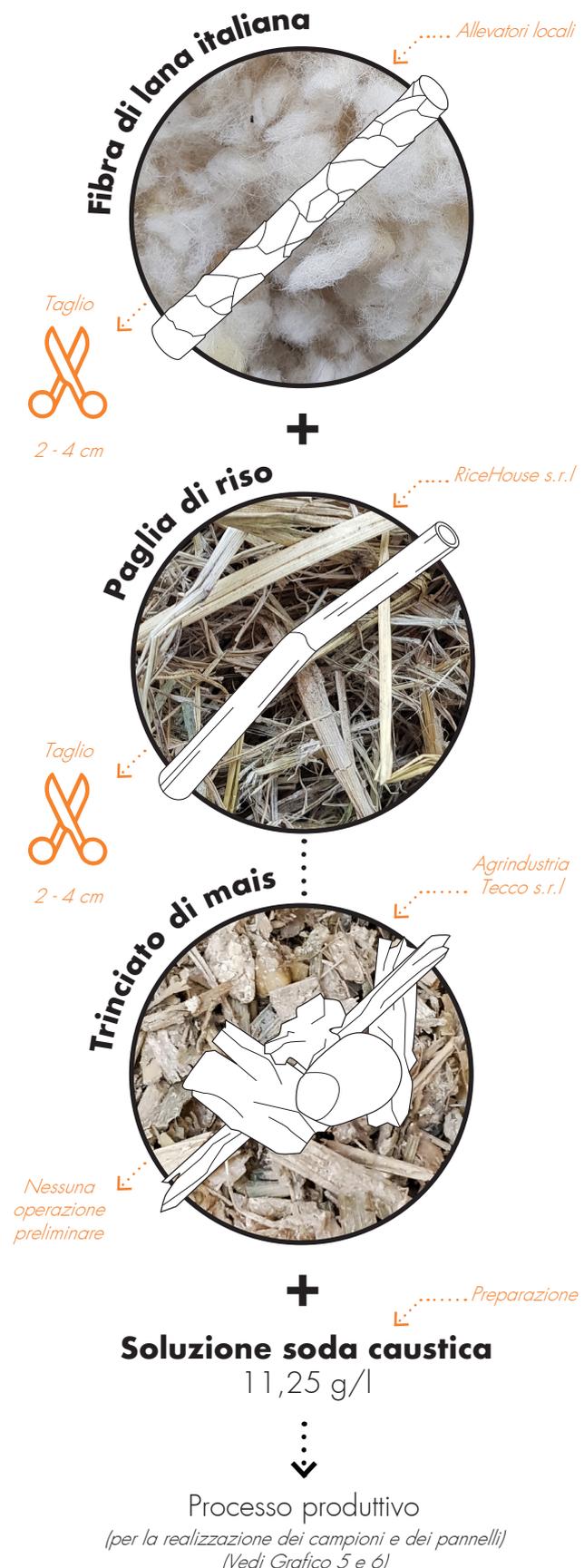
L'operazione di taglio manuale dei materiali sicuramente ha aumentato le tempistiche del processo, ma è risultata necessaria al fine dell'esecuzione di pannelli di così piccole dimensioni.

In un'ipotesi di industrializzazione questa

<sup>7</sup> *RiceHouse s.r.l.* è una start-up innovativa biellese che si occupa di sviluppo, produzione e commercializzazione di prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico per l'edilizia, connessi allo sfruttamento dei sottoprodotti della lavorazione del riso. Nello specifico la linea di prodotti proposta, varia dalla fabbricazione di telai in legno e paglia precompressa al fine di realizzare edifici in paglia prefabbricati con elevatissime prestazioni energetiche, fino a linee di lastre e blocchi a secco, massetti, intonaci edilizi e finiture a base di argilla, calce aerea, cocchio pesto, lolla di riso, pula e paglia di riso.

<sup>8</sup> *Agrindustria Tecco s.r.l.* è un'azienda nata nel 1985, che ricerca e trasforma materiali di scarto vegetali in prodotti riutilizzabili dall'uomo. Tra la vasta gamma di prodotti che propone troviamo: farine alimentari precotte, abrasivi vegetali soffici, basi per cosmetici, supporti per l'industria farmaceutica e mangimistica, materiali e cariche vegetali per molteplici utilizzi. Oltre che alla produzione di prodotti finiti, si occupa anche di offrire servizi conto terzi di macinazione, micronizzazione, trattamenti termici, pelletatura, granulazione, essiccazione e criomacinazione.

**Grafico 3** - Materie prime ed operazioni preliminari per i pannelli *AGROTESs A* e *AGROTESs B*



fase potrebbe essere ottimizzata, attraverso macchinari di trinciatura, o addirittura eliminata, in riferimento alle dimensioni che vengono prestabilite per i pannelli isolanti.

In parallelo alle operazioni sui materiali si è proceduto alla preparazione della soluzione di soda caustica, necessaria e fondamentale per il verificarsi del processo termochimico alla base della realizzazione dei pannelli.

La soluzione di soda caustica è una soluzione di tipo basico, ottenuta sciogliendo in acqua delle perle di idrossido di sodio (NaOH); va ad agire sulla struttura cheratinica della lana in maniera direttamente proporzionale alla concentrazione della soluzione (quantità di idrossido di sodio sciolto in acqua), al calore a cui viene effettuato il trattamento ed al tempo di azione sul materiale (quantità di tempo che il materiale cheratinico resta a contatto con la soluzione di soda caustica).

In riferimento alle precedenti sperimentazioni ed in base all'esperienza dell'operatore di laboratorio, la concentrazione della soluzione utilizzata per la realizzazione di *AGROTESs A* e *AGROTESs B* è stata 11,25 g/l, ovvero 11,25 grammi di idrossido di sodio per ogni litro di acqua.

### **Realizzazione dei campioni di prova**

Dopo la selezione, le operazioni sulle materie prime e la preparazione della soluzione di soda caustica, di fondamentale importanza prima di procedere con la realizzazione dei pannelli ottimali, è stata la fase esplorativa, in cui sono stati prodotti con il processo studiato, una serie di campioni di prova dalle piccole dimensioni (5 cm x 5 cm x 1 cm), con diverse porosità e densità. Lo scopo di questi provini è stato quello di valutare la ricetta migliore

(rapporti tra lana e scarto agroalimentare e condizioni di trattamento) al fine di permettere la realizzazione di un pannello finale che possa essere considerato ottimale, evitando sprechi di tempo e materiali. Le caratteristiche delle prove campione realizzate sono state concordate assieme al tecnico di laboratorio sulla base dell'esperienza maturata con i progetti Cartonlana e FITNESs.

Tutti i campioni di prova, da valutare per la realizzazione dei prototipi *AGROTESs A* e *AGROTESs B*, sono stati effettuati su un mix design esclusivamente di lana e paglia di riso, non replicando lo stesso lavoro con il trinciato di mais, in quanto di origine affine e dunque considerato inizialmente, potenzialmente simile e comparabile nelle caratteristiche alla paglia di riso.

I campioni realizzati per questa categoria di pannelli sono stati due (*CAMPIONE N° 1* e *CAMPIONE N° 2*), messi in pratica con un diverso rapporto in peso tra lana e paglia di riso ma con le stesse condizioni di trattamento; vengono in seguito specificatamente descritti.

#### *CAMPIONE N° 1*

- *Rapporto tra lana e paglia di riso: 3,5:1* (ovvero 7 g di lana e 2 g di paglia di riso);
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica: 11,25 g/l* (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento: 15 minuti;*
- *Temperatura del trattamento: 60 °C circa;*
- *Rapporto del bagno: 1:40* (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana). Il rapporto del bagno è calcolato solo sul quantitativo di lana e non sul peso totale del materiale (lana + paglia di riso);

## 7. Pannelli sperimentali

- *Quantità di bagno:* 7 (grammi di lana presenti nel campione) x 40 ml = 280 ml di bagno;

### CAMPIONE N° 2

- *Rapporto tra lana e paglia di riso:* 2:1 (ovvero 7 g di lana e 3,5 g di paglia di riso);
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica:* 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento:* 15 minuti;
- *Temperatura del trattamento:* 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno:* 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana). Il rapporto del bagno è calcolato solo sul quantitativo di lana e non sul peso totale del materiale (lana + paglia di riso);
- *Quantità di bagno:* 7 (grammi di lana presenti nel campione) x 40 ml = 280 ml di bagno;

Per quanto riguarda la sequenza della fase realizzativa, essa è iniziata pesando i due materiali separatamente su di una bilancia elettrica di precisione ed effettuando manualmente una miscela omogenea, col fine di ottenere un insieme ben amalgamato per meglio permettere la buona riuscita del trattamento.

Si è proceduto, successivamente, col versare all'interno di un cilindro graduato, la quantità di soluzione di soda caustica prevista per la prova. Il cilindro graduato con al suo interno 280 ml di soluzione (calcolata sulla base del quantitativo di lana presente all'interno del materiale della prova) è stato posizionato sopra ad una piastra elettrica riscaldante, per



**Figura 5** - Campione di prova (CAMPIONE N°1)



**Figura 6** - Campione di prova (CAMPIONE N°2)



**Figura 7** - Miscela di lana autoctona e paglia di riso



**Figura 8** - Miscela di lana autoctona e trinciato di mais



**Figura 9** - Riscaldamento della soda caustica (NaCl)



**Figura 10** - Inserimento della miscela (inizio del trattamento)

permettere al liquido di essere riscaldato fino ad una temperatura di circa 60 °C. Raggiunta la temperatura fissata del bagno, è stata inserita la miscela di materiale all'interno fino alla sua bagnatura completa, prestando però attenzione a non movimentare troppo il materiale immerso. Un'eccessiva agitazione del materiale bagnato immerso in soluzione calda, può provocare infeltrimento della fibra lanosa, sfavorendo l'azione della soda e quindi, la buona riuscita del processo.

Onde evitare danneggiamenti troppo pronunciati della lana, la temperatura del bagno deve essere mantenuta costante per tutta la durata del trattamento (che in questo caso è stata di 15 minuti), monitorandone regolarmente la condizione termica con un termometro e togliendo ad intermittenza il cilindro dalla piastra, qualora la temperatura della soluzione fosse troppo elevata.

Come già specificato, questo processo, in fase di produzione industriale è agevolato da appositi macchinari che controllano perfettamente, precisamente e costantemente la temperatura.

Terminati i 15 minuti del trattamento, il materiale deve essere scolato attraverso un setaccio e si necessita l'eliminazione di tutta la soda caustica residua all'interno delle fibre di lana, tramite dei trattamenti in soluzione acida. La *rimozione della basicità risulta necessaria nel nostro procedimento di ricerca*<sup>9</sup>, in quanto garantisce

<sup>9</sup> Per la realizzazione industriale dei pannelli Cartonlana e FITNES non viene rimossa la basicità dalla lana con le immersioni in acido. Questo è possibile grazie ad uno studio preciso sulle tempistiche del trattamento. La padronanza completa del processo permette di aver chiaro quando togliere dalla soluzione basica il materiale in modo tale da far continuare la reazione in stufa elettrica col fine di ottenere un pannello ideale. In ottica di produzione industriale, l'utilizzo di acidi comporta costi industriali aggiuntivi che peserebbero sul prezzo finale dei pannelli isolanti, rischiando di produrre un materiale che viene venduto a prezzi "fuori mercato" rispetto ai competitors.

## 7. Pannelli sperimentali

che nella fase successiva di asciugatura non continui la reazione di rottura delle cheratine che andrebbe a danneggiare in maniera non più controllata la struttura della lana.

I lavaggi effettuati dopo il processo termochimico in soluzione basica sono cinque e rispettivamente:

- 1° passaggio in acqua (immersione rapida in 280 ml);
- 2° passaggio in soluzione acida pH 2,5, ovvero acqua con aggiunta di soluzione di acido solforico fino ad arrivare a pH desiderato (immersione rapida in 280 ml);
- 3° passaggio in soluzione acida pH 2,5 (immersione rapida in 280 ml);
- 4° passaggio in soluzione acida pH 2,5 (immersione lunga in 280 ml, fino a raggiungimento di un pH stabile);
- 5° passaggio in acqua (risciacquo rapido in acqua corrente).

I lavaggi in acido causano una reazione percepibile sia a livello visivo che olfattivo. Infatti se da una parte, dopo essere ingiallita con la soda caustica, la lana ritorna al colore bianco classico con i passaggi in acido, dall'altra parte questa reazione emana un forte odore solforoso, dovuto alla rottura delle cistine presenti nella struttura della lana (dove si libera zolfo).

L'ultima soluzione acida in cui viene immerso il materiale, deve raggiungere un pH stabile che si aggira intorno a pH 5,5 – 6 e mai maggiore di pH 6,5. Questo per considerare il materiale "libero dalla soda caustica". La misurazione del pH dei bagni durante il processo, è stata misurata con un pHmetro elettronico.

Dopo aver fatto tutti i passaggi previsti in acido ed aver sciacquato il materiale in acqua, la poltiglia di materiale è stata premuta per



**Figura 11** - Preparazione dei bagni acidi di lavaggio



**Figura 12** - Scolatura della mescola tramite setaccio



**Figura 13** - Scolatura della mescola tramite setaccio



**Figura 14** - Poltiglia di lana e paglia post-scolatura



**Figura 15** - Poltiglia di lana e tinciato di mais post-scolatura



**Figura 16** - Poltiglia lana e paglia immersa in acido

rimuovere la parte maggiore di liquido residuo (in modo da facilitare la fase successiva di asciugatura) e poi messa all'interno del contenitore previsto per i campioni di prova. L'ultimo step prevede l'asciugatura in stufa elettrica a temperatura controllata, che si aggira intorno ai 75 °C (la temperatura non è elevata perché altrimenti la lana si danneggerebbe), per un tempo necessario affinché il campione non risulti più bagnato.

### Realizzazione dei pannelli ottimali

A seguito di un'attenta analisi e valutazione dei provini di prova, si è deciso di utilizzare per la realizzazione di entrambi i pannelli definitivi (*AGROTESs A* e *AGROTESs B*) le condizioni di trattamento del *CAMPIONE N° 2*, poiché caratterizzato da una minore rigidità ed una maggiore porosità rispetto al *CAMPIONE N° 7* e quindi migliore per le finalità del pannello. I pannelli ottimali sono stati creati con lo stesso processo spiegato ed utilizzato per i campioni pilota, ma adattato nelle attrezzature e nelle quantità, col fine di produrre pannelli di dimensioni maggiori (e massime possibili), in modo tale da poter effettuare l'analisi termica prevista.

Per il calcolo delle quantità di bagno e di materiale da utilizzare, si è proceduto inversamente rispetto alle prove dei provini. In questo caso infatti, prima di procedere con ragionamenti relativi alla quota di materiale ed al volume di bagno da impiegare, è stato fondamentale capire la capacità massima dei contenitori presenti in struttura in cui effettuare il processo, per poi calcolare il corrispondente materiale utilizzabile.

In particolare, dopo questa verifica, si è usufruito delle seguenti condizioni di prova.

## 7. Pannelli sperimentali

### CONDIZIONI DI PROVA

- *Contenitori*: due recipienti (pentole a pressione) con capacità massima di 5 litri cadauno, per un totale del bagno di 10 litri (10.000 ml);
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantitativo di lana*: 250 g di lana per 10 lt di bagno (calcolato con la proporzione  $1 \text{ g} : 40 \text{ ml} = x : 10.000 \text{ ml}$ );
- *Quantitativo di carica (residuo agroalimentare)*: 125 g di paglia di riso o trinciato di mais (dato dal rapporto 2:1 delle quantità dei materiali, quindi si necessita di una quantità di scarto pari alla metà del peso della lana);

La disponibilità di due recipienti gemelli e la necessità di lavorare con il maggior quantitativo di materiale possibile, hanno portato all'esecuzione del procedimento con la miscela di materiale suddiviso in due. Il trattamento, dunque, è stato svolto con metà materiale (125 g di lana e 62,5 g di scarto agroalimentare) in una pentola a pressione con 5 litri di bagno e metà materiale dentro ad una seconda pentola a pressione.

Di fatto, si sono svolti due processi completi separati, che hanno portato alla realizzazione di due prodotti simili ma distinti, successivamente uniti ed amalgamati all'interno di un recipiente di circa 20 cm x 15 cm che potesse dare forma al pannello finale.

### Analisi dei pannelli e considerazioni

Al termine dell'essiccazione completa di entrambi i pannelli ottimali, la quale ha richiesto tempi dilatati a causa della non elevata temperatura di asciugatura e l'utilizzo di contenitori di materiale plastico non forato (non idoneo a



Figura 17 - Poltiglia di lana e trinciato di mais immersa in acido



Figura 18 - Controllo del pH della soluzione con pHmetro



Figura 19 - AGROTESsA in recipiente (pre-asciugatura)



**Figura 20** - AGROTESs B in recipiente (pre-asciugatura)



**Figura 21** - Pannello AGROTESs A



**Figura 22** - Pannello AGROTESs A (dettaglio)

permettere il corretto fluire del calore all'interno del conglomerato), è stato possibile analizzare i risultati delle sperimentazioni ottenute.

Si consideri che nonostante i pannelli *AGROTESs A* e *AGROTESs B* siano il risultato di un processo ottimale precedentemente valutato sulla base di piccoli campioni di prova, il cambio di scala per la creazione dei pannelli definitivi non sempre ha fatto riscontrare e rispettare le caratteristiche prospettate.

Il pannello *AGROTESs A* si presenta ben amalgamato tra le componenti, mostrando una superficie piana e regolare ed una struttura coesa, fibrosa e porosa; al tatto è discretamente morbido con una minima flessibilità. Il campione si presta ad essere tagliato facilmente e senza fatica con seghetto manuale, lasciando un taglio preciso ma con residui di paglia che sporgono dalla sezione.

Le caratteristiche iniziali del pannello, analizzate a distanza di qualche mese dalla sua produzione, presentano una larghezza e lunghezza pari a 20 x 15 cm, un'altezza costante di 3,5 cm, un volume di 1050 cm<sup>3</sup>, una massa di 228 g (misurata su pesa elettronica in condizioni di umidità non verificate) ed una densità di circa 217 kg/m<sup>3</sup>. Le dimensioni iniziali del pannello sono state ridotte a 15 x 15 x 3,5 cm prima delle prove termiche.

Il pannello *AGROTESs B* è un campione ben coeso tra le componenti, dalla superficie piana ma non sempre regolare ed una struttura decisamente compatta e poco porosa; al tatto è duro e rigido (privo di flessibilità). Il pannello si taglia difficilmente con metodi manuali (seghetto a lama dentata), in quanto va impiegata molta forza, ma a seguito dell'operazione lascia un taglio molto netto e pulito.

Si è riscontrata, nei giorni appena successivi

## 7. Pannelli sperimentali

all'asciugatura completa del conglomerato, la comparsa di efflorescenze superficiali, probabilmente dovute alla fioritura del trinciato di mais, del quale non si conosce il comportamento preciso al trattamento basico ed acido. È possibile presentasse inoltre al momento del trattamento sostanza organica non perfettamente essiccata.

Le caratteristiche iniziali del pannello, analizzate a distanza di qualche mese dalla sua produzione, presentano una larghezza e lunghezza pari a 20 x 14 cm, un'altezza costante di 2,7 cm, un volume di 756 cm<sup>3</sup>, una massa di 194 g (misurata su pesa elettronica in condizioni di umidità non verificate) ed una densità di circa 257 kg/m<sup>3</sup>. Le dimensioni iniziali del pannello sono state ridotte a 15 x 14 x 2,7 cm prima delle prove termiche.

### 7.3.2 I pannelli AGROTESs C - C1

In seguito viene descritto il processo di realizzazione in laboratorio dei pannelli innovativi rispetto alle precedenti sperimentazioni (FITNESs e successive) in polveri tessili ad alto contenuto di fibre di lana (AGROTESs C e AGROTESs C1) ovvero residui della filiera tessile laniera.

#### Operazioni preliminari

Il processo è iniziato con la scelta, il reperimento e la preparazione dei materiali di scarto da utilizzare come *matrice* e *carica*, selezionati in base al rispetto dei requisiti già esposti in precedenza.

Come matrice, comunemente alla filosofia ed a quanto fatto per i AGROTESs A e AGROTESs B, è stata utilizzata (ma esclusivamente per compiere una parte di campioni di prova e non per la realizzazione dei pannelli finali



Figura 23 - Pannello AGROTESs B



Figura 24 - Pannello AGROTESs B (dettaglio)

come inizialmente prospettato) lana di pecora biellese, già disponibile presso i laboratori del CNR di Biella da precedenti ricerche e prelevata direttamente da allevatori locali dopo una semplice operazione di lavaggio grossolano.

La lana, per favorire la realizzazione dei pannelli, è stata tagliata manualmente con forbici durante la preparazione in laboratorio, ad una lunghezza variabile tra i 2 e 4 cm. La scelta della carica (che come vedremo

**Grafico 4** - Materie prime ed operazioni preliminari per i pannelli *AGROTESs C* e *AGROTESs C1*



necessitano in fase di preparazione di nessun tipo di operazione aggiuntiva, presentandosi già pronte per l'utilizzo nella creazione dei pannelli. L'operazione di taglio manuale della lana, sicuramente ha aumentato le tempistiche del processo, ma è risultata necessaria al fine dell'esecuzione di pannelli di così piccole dimensioni. Certamente le polveri, presentandosi già predisposte, garantiscono un più veloce e snello utilizzo.

In parallelo alla preparazione del materiale, si è proceduto alla preparazione della soluzione di soda caustica, necessaria e fondamentale per il verificarsi del processo termochimico alla base della realizzazione dei pannelli.

In riferimento alle precedenti sperimentazioni ed in base all'esperienza dell'operatore di laboratorio, dopo aver effettuato i primi campioni di prova con una concentrazione della soluzione uguale a quella utilizzata per i pannelli *AGROTESs A* e *AGROTESs B* di 11,25 g/l, ovvero 11,25 grammi di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, si è deciso di eseguire ulteriori test con una soluzione di soda caustica meno concentrata, in modo tale da essere meno distruttiva sui campioni di prova.

La nuova concentrazione della soluzione utilizzata e successivamente scelta per la realizzazione dei pannelli *AGROTESs C* e *AGROTESs C1*, è di 10 g/l ovvero 10 grammi di idrossido di sodio per ogni litro di acqua.

### Realizzazione dei campioni di prova

Dopo la selezione, le operazioni sulle materie prime e la preparazione della soluzione di

diventerà in realtà la nostra matrice) in questo caso invece, è ricaduta sulle polveri tessili laniere, prelevate presso l'industria biellese *Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a*<sup>10</sup>. Esse non

<sup>10</sup> Il *Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a* è un'azienda tessile biellese nata nella prima metà degli anni sessanta che si occupa di realizzare trattamenti di finissaggio (ad umido ed a secco) e tintoria (stampe e tintoria tradizionale) conto terzi.

## 7. Pannelli sperimentali

soda caustica, importante e necessaria prima di procedere con alla realizzazione dei pannelli ottimali, è stata la fase esplorativa, in cui sono stati prodotti con il processo studiato, una serie di provini di prova dalle dimensioni ridotte (5 cm x 5 cm x 1 cm), diverse porosità e densità. Lo scopo di questi campioni pilota è stato quello di valutare la ricetta migliore (rapporti tra lana e polvere tessile laniera e condizioni di trattamento) al fine di permettere la realizzazione di pannelli finali che possano essere considerati ottimali, evitando sprechi di tempo e di materiali. Le caratteristiche delle prove campione realizzate, come per l'altra classe di pannelli, sono state concordate assieme al tecnico di laboratorio sulla base dell'esperienza maturata con i progetti Cartonlana e FITNESs, anche se, l'utilizzo di polveri tessili laniera, ha comportato ragionamenti molto differenti rispetto ai precedenti.

Se nei pannelli che utilizzano lana e residui agricoli vegetali, infatti, la carica non reagisce con il trattamento termochimico in soluzione basica e quindi bisogna gestirne semplicemente l'azione sulla matrice di lana, in questo caso la carica è anch'essa prettamente composta da fibre cheratiniche e dunque reagente rispetto al trattamento in soda caustica.

Ulteriore approfondimento dev'essere fatto anche riguardo la finezza e la lunghezza delle fibre che compongono le polveri. Esse hanno una scala nettamente inferiore rispetto alle lane piemontesi utilizzate, il che comporta una differenza di reazione al bagno in soluzione tra matrice e carica. La carica (polvere tessile laniera) reagisce molto più in fretta rispetto alla matrice (fibra di lana locale), rendendo molto difficile capire la tempistica, il rapporto

del mix design e la concentrazione della soda giuste per la realizzazione di un buon pannello isolante.

Le prove realizzate per questa categoria di pannelli sono state sei (*CAMPIONE N° 1*, *CAMPIONE N° 2*, *CAMPIONE N° 3*, *CAMPIONE N° 4*, *CAMPIONE N° 5* e *CAMPIONE N° 6*), tre con diverso rapporto in peso tra lana e polvere tessile laniera ma con le stesse condizioni di trattamento ed altre tre esclusivamente con polveri tessili laniera a diverse condizioni di trattamento, come specificatamente indicato in seguito.

### *CAMPIONE N° 1*

- *Rapporto tra lana e polveri tessili:* 1:1 (ovvero 5 g di lana e 5 g di polveri tessili);
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica:* 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento:* 15 minuti;
- *Temperatura del trattamento:* 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno:* 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana). Il rapporto del bagno in questo caso è calcolato sul peso totale del materiale (lana + polveri tessili), poichè pure il residuo tessile è prettamente composto da fibre cheratiniche;
- *Quantità di bagno:* 10 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 400 ml di bagno;

### *CAMPIONE N° 2*

- *Rapporto tra lana e polveri tessili:* 2:1 (ovvero 7 g di lana e 3,5 g di polveri tessili);
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica:* 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua,



**Figura 25** - Campione di prova (CAMPIONE N°1)



**Figura 26** - Campione di prova (CAMPIONE N°2)



**Figura 27** - Campione di prova (CAMPIONE N°3)

come specificato precedentemente);

- *Tempo di trattamento*: 15 minuti;
- *Temperatura del trattamento*: 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantità di bagno*: 10,5 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 420 ml di bagno;

#### CAMPIONE N° 3

- *Rapporto tra lana e polveri tessili*: 1:4 (ovvero 2 g di lana e 8 g di polveri tessili);
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica*: 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento*: 15 minuti;
- *Temperatura del trattamento*: 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantità di bagno*: 10 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 400 ml di bagno;

#### CAMPIONE N° 4

- *Solo polveri tessili*: 10 g;
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica*: 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento*: 15 minuti;
- *Temperatura del trattamento*: 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantità di bagno*: 10 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 400 ml di bagno;

#### CAMPIONE N° 5

- *Solo polveri tessili*: 10 g;
- *Concentrazione della soluzione di soda*

## 7. Pannelli sperimentali

*caustica*: 11,25 g/l (ovvero 11,25 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);

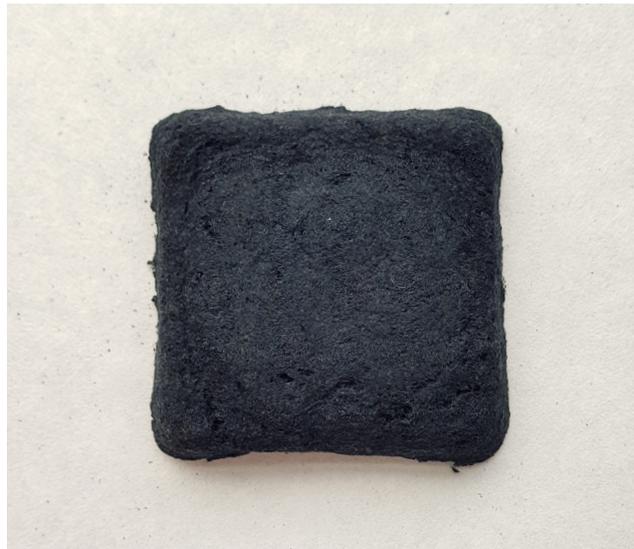
- *Tempo di trattamento*: 5 minuti;
- *Temperatura del trattamento*: 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantità di bagno*: 10 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 400 ml di bagno;

### CAMPIONE N° 6

- *Solo polveri tessili*: 10 g;
- *Concentrazione della soluzione di soda caustica*: 10 g/l (ovvero 10 g di idrossido di sodio per ogni litro di acqua, come specificato precedentemente);
- *Tempo di trattamento*: 10 minuti;
- *Temperatura del trattamento*: 60 °C circa;
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);
- *Quantità di bagno*: 10 (grammi di materiale presenti) x 40 ml = 400 ml di bagno;

La messa in pratica del processo produttivo ha avuto inizio con la pesatura dei materiali su di una bilancia elettrica di precisione ed una successiva mescola manuale omogenea (qualora siano stati utilizzati due materiali) col fine di ottenere un agglomerato ben amalgamato per meglio permettere la buona riuscita del trattamento.

Si è proceduto nel frattempo col versare all'interno di un cilindro graduato, la quantità di soluzione di soda caustica prevista per la prova. Il cilindro graduato con al suo interno 400 ml di soluzione circa (calcolata sulla base del quantitativo totale di materiale presente) è stato posizionato sopra ad una piastra elettrica riscaldante, per permettere al liquido di essere



**Figura 28** - Campione di prova (CAMPIONE N°4)



**Figura 29** - Campione di prova (CAMPIONE N°5)



**Figura 30** - Campione di prova (CAMPIONE N°6)



**Figura 31** - Riscaldamento della soda caustica (NaCl)



**Figura 32** - Inserimento della miscela (inizio del trattamento)



**Figura 33** - Preparazione dei bagni acidi di lavaggio

riscaldato fino ad una temperatura di circa 60 °C. Raggiunta la temperatura fissata del bagno, è stata inserita la miscela di materiale all'interno fino alla sua bagnatura completa, prestando però attenzione a non applicare una forza meccanica elevata. Un eccessivo movimento del materiale immerso in soluzione calda, può provocare infeltrimento della fibra lanosa, sfavorendo l'azione della soda e quindi la buona riuscita del processo.

Per evitare danneggiamenti troppo pronunciati della lana, la temperatura del bagno deve essere mantenuta costante per tutta la durata del trattamento (che nel caso dei campioni propedeutici alla realizzazione di *AGROTESs C* e *AGROTESs C1* è stata variabile in base alle prove), monitorando regolarmente la condizione termica del bagno con un termometro e togliendo, ad intermittenza, il cilindro dalla piastra qualora la temperatura della soluzione ecceda da quella stabilita.

Come già specificato, questo processo in fase di produzione industriale è possibile agevolarlo attraverso appositi macchinari che controllino perfettamente, precisamente e costantemente la temperatura.

Terminati i minuti previsti per il trattamento, il materiale deve essere scolato con un setaccio e deve essere eliminata tutta la soda caustica residua all'interno dei peli lanosi, tramite dei passaggi in soluzione acida. La rimozione della basicità risulta necessaria nel nostro procedimento di ricerca in quanto garantisce che, nella fase successiva di asciugatura, non continui la reazione di rottura delle cheratine, la quale andrebbe a danneggiare in maniera non più controllata la struttura delle fibre di lana.

I lavaggi effettuati dopo il processo di idrolisi in soluzione basica sono cinque e rispettivamente:

## 7. Pannelli sperimentali

- 1° passaggio in acqua (immersione rapida in 400 ml);
- 2° passaggio in soluzione acida pH 2,5, ovvero acqua con aggiunta di soluzione di acido solforico fino ad arrivare a pH desiderato (immersione rapida in 400 ml);
- 3° passaggio in soluzione acida pH 2,5 (immersione rapida in 400 ml);
- 4° passaggio in soluzione acida pH 2,5 (immersione lunga, fino a raggiungimento di un pH stabile in 400 ml);
- 5° passaggio in acqua (risciacquo rapido in acqua corrente);

I lavaggi in acido causano una reazione percepibile sia a livello visivo che olfattivo. Infatti da una parte, questa reazione emana un forte odore di "uovo marcio" dovuto alla rottura delle cistine presenti nella struttura della lana (dove si libera zolfo), dall'altra la fibra di lana locale dopo essere ingiallita con la soda caustica, ritorna al colore bianco classico con i passaggi in acido. Il cambiamento di colore non si nota nelle polveri, perchè sono tinte e quindi di colore non più naturale.

L'ultima soluzione acida in cui viene immerso il materiale, deve raggiungere un pH stabile che si aggira intorno a pH 5,5 – 6 e mai maggiore di pH 6,5. Questo per considerare il materiale "libero dalla soda caustica". La misurazione del pH dei bagni durante il processo, è stata misurata con un pHmetro elettronico.

Dopo aver fatto tutti i passaggi previsti in acido ed aver sciacquato il materiale in acqua, la poltiglia di materiale è stata strizzata e messa all'interno del contenitore previsto per i campioni pilota. L'ultimo step prevede l'asciugatura in stufa elettrica a temperatura controllata che si aggira intorno ai 75 °C (non è una temperatura elevata perché altrimenti la fibra cheratinica



**Figura 34** - Scolatura della miscela tramite setaccio



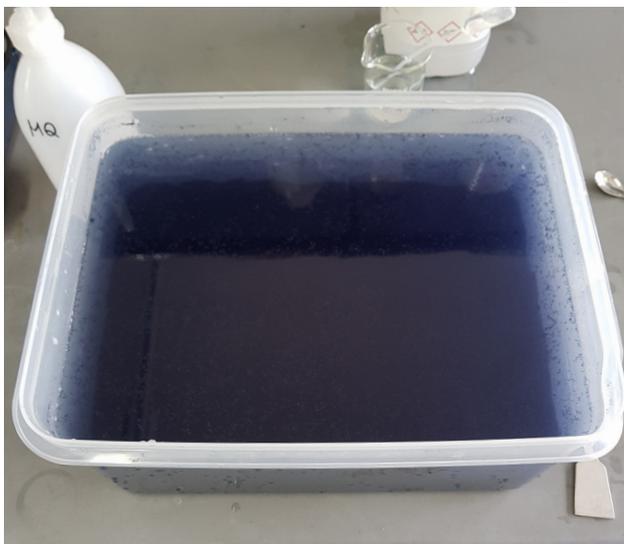
**Figura 35** - Poltiglia di polveri tessili post-scolatura



**Figura 36** - Poltiglia di polveri tessili immersa in acido



**Figura 37** - Scolatura della miscela tra i passaggi in acido



**Figura 38** - Poltiglia di polveri tessili immersa in acido



**Figura 39** - AGROTESs C - C1 in recipiente (preasciugatura)

si danneggerebbe) per un tempo necessario affinché il campione non risulti più bagnato.

### Realizzazione dei pannelli ottimali

A seguito di un'attenta analisi e valutazione dei campioni pilota, si è deciso di utilizzare per la realizzazione del pannello definitivo *AGROTESs C* le condizioni di trattamento del *CAMPIONE N° 6* in quanto considerato visivamente il migliore. Per il pannello definitivo *AGROTESs C1* le condizioni di trattamento adoperate, sono simili a quelle della *CAMPIONE N° 6*, ma con un rapporto del bagno di 1:20 ed un tempo di trattamento pari a 5 minuti.

Questo pannello è frutto di un errore avvenuto durante la preparazione del pannello *AGROTESs C*. Si è deciso comunque di prenderlo in analisi non sottoponendolo ai trattamenti di neutralizzazione in acido; dunque dopo un semplice lavaggio in acqua corrente è stato versato nel contenitore e lasciato asciugare, con la reazione basica delle ceratine che è continuata, in maniera non controllata, fino a completa asciugatura.

I pannelli *AGROTESs C* e *AGROTESs C1* sono stati realizzati esclusivamente in polveri tessili laniere, le prove contenenti il connubio con le fibre di lana autoctona sono state scartate poiché si è preferito approfondire le caratteristiche di pannelli composti al 100% da polveri tessili per un duplice motivo:

- *difficoltà di gestione della reazione* in soluzione di soda caustica su due fibre di dimensioni così differenti;
- *volontà di analizzare meglio*, in questa fase, un prodotto finito che utilizza solo lo scarto tessile laniero, in quanto ricco di potenziale. Il suo utilizzo potrebbe essere quello di matrice e quindi sostitutivo delle lane autoctone,

## 7. Pannelli sperimentali

invertendo così il punto di vista della ricetta, favorendo l'apertura di nuovi scenari di analisi. Le lane grossolane (assieme agli scarti agroalimentari) potrebbero diventare a questo punto addirittura la carica fibrosa del pannello che conferisce porosità, struttura ed elasticità al manufatto.

L'impiego delle polveri tessili ad elevato contenuto di fibre di lana come matrice comporterebbe l'utilizzo di un residuo prodotto in grandi quantità in molte aziende del settore laniero e che ad oggi non presenta riutilizzi diffusi (vedi capitoli precedenti).

*AGROTESs C* (rispetto al *AGROTESs C1*) è stato creato con lo stesso processo spiegato ed utilizzato per i campioni pilota, ma adattato nelle attrezzature e nelle quantità, al fine di produrre pannelli di dimensioni massime possibili, tali da essere conformi ad effettuare le analisi termiche.

Per il calcolo delle quantità di bagno e di materiale da utilizzare, si è proceduto inversamente rispetto alle prove pilota. In questo caso, infatti, prima di procedere con ragionamenti relativi alla quota di materiale ed al volume di bagno da impiegare, è stato fondamentale capire la capacità massima dei contenitori presenti in struttura per poi calcolare il corrispondente materiale utilizzabile.

In particolare, dopo questa verifica, si è usufruito delle seguenti condizioni.

### CONDIZIONI DI PROVA

- *Contenitori*: due recipienti (pentole a pressione) con capacità massima di 5 litri cadauno, per un totale del bagno di 10 litri (10.000 ml);
- *Rapporto del bagno*: 1:40 (ovvero 40 ml di soluzione basica ogni 1 g di lana);

### Grafico 5 - Sequenza delle operazioni. Messa in pratica del processo produttivo in laboratorio

- 1 Selezione delle materie prime
- 2 Operazioni preliminari al processo produttivo (Vedi grafico 4)
- 3 Pesatura e mescolatura dei materiali coinvolti
- 5 Riscaldamento della soluzione basica su piastra calda
- 6 Immersione della mescola di materiale (a temperatura del bagno desiderata)
- 7 Monitoraggio della temperatura del bagno lungo tutto il tempo di trattamento
- 8 Scolatura della poltiglia (a fine del processo termochimico)
- 9 Rimozione della basicità del materiale attraverso 5 passaggi di lavaggio in acqua e soluzione acida
- 10 Strizzatura della poltiglia per la rimozione del liquido assorbito
- 11 Posizionamento della miscela all'interno di un contenitore
- 12 Asciugatura in stufa elettrica

- *Quantitativo di polveri tessili*: 250 g di polveri per 10 lt di bagno (calcolato con la proporzione  $1 \text{ g} : 40 \text{ ml} = x : 10.000 \text{ ml}$ );

La disponibilità di due recipienti gemelli e la necessità di lavorare con il maggior quantitativo di materiale possibile, hanno portato all'esecuzione del procedimento con la mescola di materiale suddiviso in due. Il trattamento, dunque, è stato



**Figura 40** - Pannello AGROTESs C



**Figura 41** - Pannello AGROTESs B (dettaglio)



**Figura 42** - Pannello AGROTESs C1

svolto con metà materiale (125 g di polveri tessili) in una pentola a pressione da 5 litri, e metà materiale dentro ad una seconda pentola a pressione.

Di fatto si sono svolti due processi completi separati, che hanno portato alla realizzazione di due poltiglie di materiale lavorato simili ma distinte, successivamente unite ed amalgamate all'interno di un contenitore da 20 cm x 15 cm, che potesse dare forma al pannello finale.

### **Analisi dei pannelli e considerazioni**

Successivamente all'essiccazione completa dei pannelli ottimali di questa categoria, è stato possibile analizzare i risultati delle sperimentazioni ottenute. L'asciugatura dei materiali ha richiesto tempi più lunghi del previsto, a causa dell'utilizzo di contenitori di materiale plastico non forato (non idoneo a permettere il corretto fluire del calore all'interno del conglomerato) e della temperatura della stufa elettrica posta ad un valore non elevato. Nonostante il pannello *AGROTESs C* sia il risultato di un processo ottimale precedentemente valutato sulla base di piccoli campioni di prova, bisogna considerare (come osservato anche nel caso dei pannelli *AGROTESs A* e *AGROTESs B*) che il cambio di scala, per la creazione dei pannelli definitivi, ha visto profilarsi talvolta problemi non preventivati;

Il pannello *AGROTESs C* manifesta una superficie piana ma non sempre regolare poiché fessurata ed una struttura debole, poco coesa, molto fragile e con tendenza a disgregarsi se sottoposta a consistenti movimentazioni; al tatto lascia residui polverosi come quando viene tagliato. Il taglio del campione avviene senza fatica ma aumenta il rischio di sgretolare in pezzi il pannello costituito.

## 7. Pannelli sperimentali

La fragilità del pannello denota una mancanza di cariche fibrose utili a tenere insieme l'intero aggregato polveroso, evidenziando inoltre la necessità di ulteriori approfondimenti sulle condizioni del processo da applicare con questo tipo di residuo. Si può ipotizzare a posteriori, per giustificare questo insoddisfacente risultato, un tempo eccessivo di trattamento in soluzione basica a quella concentrazione che ha danneggiato troppo le microfibre lanose.

Le caratteristiche iniziali del pannello, analizzate a distanza di qualche mese dalla sua produzione, presentano una larghezza e lunghezza pari a 20 x 15 cm, un'altezza costante di 2,2 cm, un volume di 660 cm<sup>3</sup>, una massa di 134 g (misurata su pesa elettronica in condizioni di umidità non verificate) ed una densità di circa 203 kg/m<sup>3</sup>. Le dimensioni iniziali del pannello sono state ridotte a 15 x 15 x 2,2 cm prima delle prove termiche.

Il pannello *AGROTESs C1* ha una superficie irregolare ed una struttura massiccia, densa, polverosa ed al tatto molto dura e rigida (privo di flessibilità).

Il campione è molto tenace al taglio manuale con seghetto dentato, in quanto si impiega molto tempo anche a fronte di una forza elevata e costante. Al termine dell'operazione lascia un taglio molto netto, preciso e pulito.

È interessante documentare che il pannello, a seguito dell'asciugatura in forno elettrico, si sia imbarcato, ovvero (al contrario degli altri provini) ha assunto una forma irregolare e convessa, non uniforme a quella del contenitore in cui è stato posto il conglomerato umido a seguito del trattamento. Si può ipotizzare che la causa di questo fenomeno sia dovuta alla non neutralizzazione in acido del campione, la quale ha permesso di far continuare il processo



**Figura 43** - Pannello AGROTESs C1 (dettaglio)

di modifica delle cheratine anche una volta che le polveri tessili laniere sono state tolte dalla soluzione basica.

Le caratteristiche iniziali del pannello, analizzate a distanza di qualche mese dalla sua produzione, presentano una larghezza e lunghezza pari a 20 x 14 cm, un'altezza media (in quanto il campione ha una variabilità di altezza) di 2,9 cm, un volume di 812 cm<sup>3</sup>, una massa di 205 g (misurata su pesa elettronica in condizioni di umidità non verificate) ed una densità di circa 252 kg/m<sup>3</sup>. Le dimensioni iniziali del pannello sono state ridotte a 14,5 x 13,5 x 2,9 cm prima delle prove termiche.

### **7.4 DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE**

Al fine di ottenere una corretta valutazione delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi, è necessario conoscere le caratteristiche termiche degli elementi che li compongono ed in particolare quelle degli isolanti, che, come abbiamo già visto nella trattazione, hanno un ruolo fondamentale in questo senso.

**Grafico 6** - Schematizzazione della metodologia di lavoro utilizzata per la definizione dei pannelli della famiglia *AGROTESs*

## “Famiglia” *AGROTESs*

2 x Categorie di pannelli



- **Pannelli coerenti alle precedenti sperimentazioni** (*FITNESs* e successive)

STEP 1 *Come inizio?*



2 x Campioni di prova

CAMPIONE N°1 *(lana italiana e paglia di riso)*

**CAMPIONE N°2** *(lana italiana e paglia di riso)*

CONDIZIONI DI PROVA CAMPIONE N°2

- Rapporto tra matrice e carica: 2:1
- Concentrazione della soluzione di soda caustica: 11,25 g/l
- Tempo di trattamento: 15 minuti;
- Temperatura del trattamento: 60 °C circa;
- Rapporto del bagno: 1:40
- Quantità di bagno: grammi di lana presenti x 40 ml



STEP 2 *Uso le condizioni di prova del CAMPIONE N°2 (adattate nelle quantità)*



2 x Pannelli ottimali

**AGROTESs A** *(lana italiana e paglia di riso)*

**AGROTESs B** *(lana italiana e trinciato di mais)*

- **Pannelli innovativi rispetto alle precedenti sperimentazioni** (*FITNESs* e successive)

STEP 1 *Come inizio?*



6 x Campioni di prova

CAMPIONE N°1 *(lana italiana e polveri tessili laniere)*

CAMPIONE N°2 *(lana italiana e polveri tessili laniere)*

CAMPIONE N°3 *(lana italiana e polveri tessili laniere)*

CAMPIONE N°4 *(solo polveri tessili laniere)*

CAMPIONE N°5 *(solo polveri tessili laniere)*

**CAMPIONE N°6** *(solo polveri tessili laniere)*

CONDIZIONI DI PROVA CAMPIONE N°6

- Uso esclusivo di polveri tessili laniere
- Concentrazione della soluzione di soda caustica: 10 g/l
- Tempo di trattamento: 10 minuti;
- Temperatura del trattamento: 60 °C circa;
- Rapporto del bagno: 1:40
- Quantità di bagno: grammi materiale presenti x 40 ml



STEP 2 *Uso le condizioni di prova del CAMPIONE N°6 (adattate nelle quantità)*



2 x Pannelli ottimali

**AGROTESs C** *(polveri tessili laniere)*

**AGROTESs C1** *(polveri tessili laniere) \**

\* Condizioni di prova per il pannello *AGROTESs C1* sono simili a quelle del *CAMPIONE N°6* (adattate nelle quantità) ma modificate in itinere nel rapporto del bagno (1:20) e nel tempo di prova (5 minuti)

## 7. Pannelli sperimentali

Esistono procedure di prova, normalizzate dagli organismi preposti a livello internazionale ed europeo, eseguite in diversi laboratori autorizzati ed accreditati, utili a definire le caratteristiche termiche di conducibilità dei materiali isolanti per l'edilizia sotto forma di pannelli; le più diffuse sono:

- *metodo del termoflussimetro*;

- *metodo della piastra calda con anello di guardia*.

Verrà approfondito nei successivi paragrafi esclusivamente il metodo della piastra calda con anello di guardia poiché è la tipologia utilizzata per la valutazione termica dei pannelli AGROTESs. Verranno indicate le caratteristiche principali su cui si basa la prova ed esaminate nello specifico l'organizzazione e lo svolgimento dei test sui pannelli sperimentali.

### 7.4.1 Il metodo della piastra calda con anello di guardia

La determinazione della conducibilità termica mediante il metodo della piastra calda con anello di guardia è tra le tecniche più comuni per misurare le prestazioni a livello termico dei pannelli solanti per l'edilizia.

La prova viene condotta con strumenti appositi, in conformità alla normativa internazionale standardizzata redatta con la *Norma ISO 8302:1991 "Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus"* recepita a livello europeo e nazionale dalla *Norma UNI EN 12667:2002 "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"*.

L'apparecchiatura utilizzata, permette di

misurare la conducibilità termica del materiale posto in analisi, in condizioni di regime termico stazionario unidirezionale e comprende la seguente serie di elementi:

- *elemento riscaldante*, posto al di sotto del provino da testare, consiste in una piastra calda costituita da una zona di misura centrale e da un elemento di contorno chiamato anello di guardia, che permette di generare un

flusso termico concentrato e monodirezionale che passa attraverso il campione in prova. Il riscaldamento della piastra avviene tramite apposite resistenze termiche ad essa collegate;

- *elemento raffreddante*, posto al di sopra del provino in analisi, consiste in una piastra fredda con dimensioni identiche a quelle dell'intero elemento riscaldante. Il raffreddamento della piastra è generato grazie alla circolazione di un liquido refrigerante;

- *elementi di isolamento*, che circondano gli altri componenti e l'intero campo di prova, evitando eventuali dispersioni di calore durante i test.

- *elemento di settaggio e controllo computerizzato*, che permette di impostare, mediante schermo o PC esterno, tutte le informazioni necessarie ad avviare la prova, di controllare lo svolgimento del test e di fornire i risultati di analisi.

### 7.4.2 Organizzazione delle prove

I test termici per determinare la conducibilità termica dei pannelli AGROTESs sono stati svolti presso il laboratorio di prove edili dell'azienda *TECNO PIEMONTE S.p.a.*<sup>11</sup>, in conformità

.....

<sup>11</sup> Tecno Piemonte S.p.a. è una società privata pluridecennale che si occupa della fornitura di servizi, in particolare di prove e certificazione, nel settore delle opere di ingegneria civile, operando sia in ambito nazionale che internazionale. Grazie al conseguimento delle autorizzazioni ministeriali affianca Amministrazioni Pubbliche, Imprese e Privati come laboratorio di prove e certificazioni su materiali da costruzione.

alle normative vigenti, con strumento di prova della conducibilità termica a campione singolo  $\lambda$  – meter modello EP500 v.C della marca Lambda – Messtechnik GmbH<sup>12</sup>, che utilizza, per determinare i parametri, il metodo della piastra calda con anello di guarda.

Prima di essere consegnati al laboratorio per i test, si è proceduto col tagliare i pannelli AGROTESs attraverso taglio manuale con seghetto a lama leggermente dentata, riducendoli ad una dimensione utile alla prova, approssimativamente con forma quadrata, di circa 15 x 15 cm.

Bisogna specificare, prima di entrare nel merito dei parametri e procedimenti di prova, che il pannello AGROTESs C dopo attente valutazioni dell'addetto di laboratorio dell'azienda, non è stato esaminato poiché ritenuto troppo fragile per ottenere valori veritieri e non influenzati dalle fessurazioni che lo contraddistinguono.

Le prove sono state realizzate dunque sugli altri tre campioni AGROTESs A, AGROTESs B e AGROTESs C1, rispettivamente organizzate su tre giorni lavorativi per far fronte ai tempi dilatati che richiede la misurazione.

Il processo di misura è iniziato a seguito di una essiccazione preventiva che ha permesso di eliminare l'eventuale presenza di umidità dai campioni e realizzare i test con provini allo stato secco (dry). Sono state così misurate su ogni pannello le caratteristiche dimensionali di grandezza, spessore, massa, volume e densità in modo tale da avere una documentazione precisa dei tratti distintivi che presentavano appena prima di essere inseriti nell'apparecchio di rilevamento della conducibilità.

I tre test sui campioni sono stati eseguiti con le seguenti condizioni di prova, impostate nel

macchinario come input:

- temperatura media di prova ( $T_m$ ) = 20 °C (circa 293 K)<sup>13</sup>;

- temperatura media della piastra calda ( $T_1$ ) = 27,5 °C (circa 300,5 K);

- temperatura media della piastra fredda ( $T_2$ ) = 12,5 °C (circa 285,5 K);

- differenza di temperatura ( $\Delta T$ ) = 15 °C (o 15 K).

Sulla base di questi dati si è ottenuta la restituzione dei risultati (output) di  $\lambda_{20,dry}$  (conducibilità termica allo stato secco ad una temperatura media di 20°C) sulla quale si sono calcolati i valori di resistenza termica e trasmittanza termica.

Vengono qui successivamente riassunti, i risultati delle prove termiche e dimensionali compiute sui provini AGROTESs.

#### AGROTESs A

- Dimensioni = 15 x 15 x 3,5 cm;
- Massa = 161 g;
- Area = 225 cm<sup>2</sup>;
- Volume = 787,5 cm<sup>3</sup>;
- Densità = m/v = 0,204 g/cm<sup>3</sup> = 204 kg/m<sup>3</sup>;
- Conduttività termica ( $\lambda_{20,dry}$ ) = 0,054 W/mK;
- Resistenza termica ( $R$ ) = s/ $\lambda$  = 0,035/0,054 = 0,648 m<sup>2</sup>K/W;
- Trasmittanza termica ( $U$ ) = 1/R = 1/0,648 = 1,543 W/m<sup>2</sup>K;

<sup>12</sup> Il macchinario in questione lavora attuando una modalità di misurazione singola o in serie (fino a tre misurazioni per ogni prova) con accuratezze inferiori a 1,0% (principalmente <0,7%) ed effettuate ad una temperatura media liberamente selezionabile generalmente in un intervallo tra i 10 °C e i 40 °C.

La differenza di temperatura permessa tra la piastra calda e quella fredda è selezionabile tra un intervallo da 5 K a 15 K.

Le dimensioni del campione ottimali per questa apparecchiatura sono di 50 x 50 cm ed uno spessore variabile tra 1 e 12 cm. Si accettano anche dimensioni molto ridotte dei provini in quanto la zona di misura della conducibilità si restringe anche a dimensioni minori di 15 x 15 cm.

<sup>13</sup> Gradi Celsius e Kelvin sono due modi diversi per esprimere la temperatura. La conversione tra le due unità di misura è la seguente  $K = ^\circ C + 273,15$  oppure viceversa  $^\circ C = K - 273,15$ .

## 7. Pannelli sperimentali

### AGROTESs B

- *Dimensioni* = 15 x 14 x 2,7 cm;
- *Massa* = 141 g;
- *Area* = 210 cm<sup>2</sup>;
- *Volume* = 567 cm<sup>3</sup>;
- *Densità* =  $m/v = 0,249 \text{ g/cm}^3 = 249 \text{ kg/m}^3$ ;
- *Conduttività termica* ( $\lambda_{20,dy}$ ) = 0,063 W/mK;
- *Resistenza termica* ( $R$ ) =  $s/\lambda = 0,027/0,063 = 0,429 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
- *Trasmittanza termica* ( $U$ ) =  $1/R = 1/0,429 = 2,331 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

### AGROTESs C1

- *Dimensioni* = 14,5 x 13,5 x 2,9 cm;
- *Massa* = 136 g;
- *Area* = 195,75 cm<sup>2</sup>;
- *Volume* = 568 cm<sup>3</sup>;
- *Densità* =  $m/v = 0,240 \text{ g/cm}^3 = 240 \text{ kg/m}^3$ ;
- *Conduttività termica* ( $\lambda_{20,dy}$ ) = 0,061 W/mK;
- *Resistenza termica* ( $R$ ) =  $s/\lambda = 0,029/0,061 = 0,475 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
- *Trasmittanza termica* ( $U$ ) =  $1/R = 1/0,475 = 2,105 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

### 7.4.3 Analisi dei risultati e considerazioni

Dai risultati emersi dalle prove di laboratorio, si evince come tra i pannelli AGROTESs quello dalle migliori prestazioni termiche sia quello composto dal mix design di lana e paglia di riso ( $\lambda$  AGROTESs A = 0,054 W/mK), seguito dal pannello composto esclusivamente da polveri tessili laniere ( $\lambda$  AGROTESs C1 = 0,061 W/mK) e da quello che combina lana e trinciato di mais ( $\lambda$  AGROTESs B = 0,063 W/mK).

I dati di conducibilità misurati rispecchiano quello che ci si aspettava guardando i valori di densità, infatti, aumentano con l'aumentare della densità dei pannelli.



Figura 44 - Pannello AGROTESs A tagliato e testato

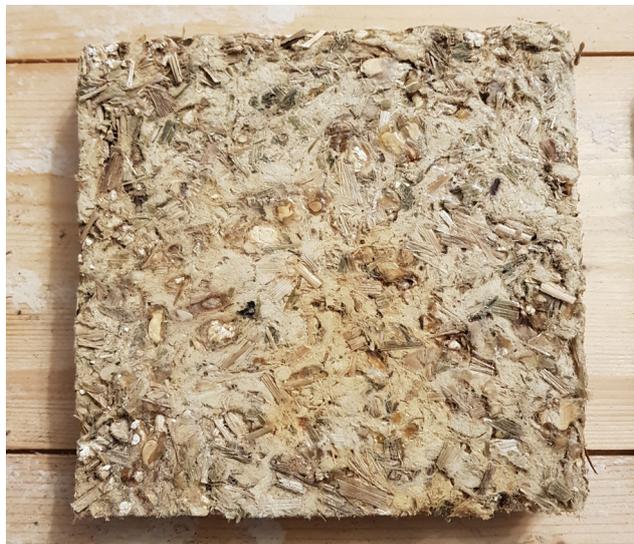


Figura 45 - Pannello AGROTESs B tagliato e testato



Figura 46 - Pannello AGROTESs C1 tagliato e testato

I valori tra 0,054 W/mK e 0,063 W/mK risultano leggermente più alti se confrontati con i risultati ottenuti con i precedenti Cartonlana e FITNESs ma coerenti con quelli riscontrati con le indagini successive svolte su di un pannello sperimentale in lana e residuo di pianta di fagiolo secco.

È opportuno specificare che i dati di conduttività conseguiti per *AGROTESs* non sono perfettamente confrontabili con quelli antecedenti poiché le *modalità e le condizioni di misura delle prove*<sup>14</sup> non sono state le medesime; tuttavia dato l'utilizzo, in tutti i casi, di metodologie certificate di misura, si ritiene che questi parametri ottenuti diano un buon punto comparativo di partenza.

Se si tiene presente esclusivamente il dato termico di conducibilità i campioni *AGROTESs* mostrano una capacità lievemente più bassa rispetto alla media della generalità dei materiali naturali isolanti rigidi o semirigidi presenti attualmente sul mercato; come analizzato nei capitoli precedenti, infatti, essa si attesta intorno a valori di 0,040/0,045 W/mK. Questi risultati ottenuti, oltre alla possibilità di essere stati condizionati dalla piccola dimensione dei provini posti in prova, sono comunque discreti, interessanti ed incoraggianti se consideriamo che potrebbero essere decisamente migliorabili, ma soprattutto, se rapportati alle densità che i provini oggetto di tesi offrono rispetto ad una eventuale concorrenza.

La conduttività termica dei campioni potrebbe essere migliorata, in ricerche future, ad esempio tramite accorgimenti produttivi studiati in modo da applicare una pressatura calibrata al pannello, che ne favorisca la formazione di pori per l'incorporazione dell'aria. Bisogna avere la consapevolezza che, il miglioramento della

porosità dei pannelli per affinare le prestazioni termiche comporterebbe un abbassamento della densità dei materiali; ciò nonostante ci si aspetta che questa rimanga comunque alta rispetto alla media dei materiali commercializzati ad oggi sul mercato.

Risulterebbe interessante date le elevate masse, valutare il comportamento termico in regime dinamico dei pannelli *AGROTESs*; sarebbe inoltre di interesse testare i pannelli nelle prestazioni di isolamento acustico, per cui si ipotizza di ottenere buoni risultati.

## 7.5 POTENZIALITÀ DI UTILIZZO E MODALITÀ DI APPLICAZIONE

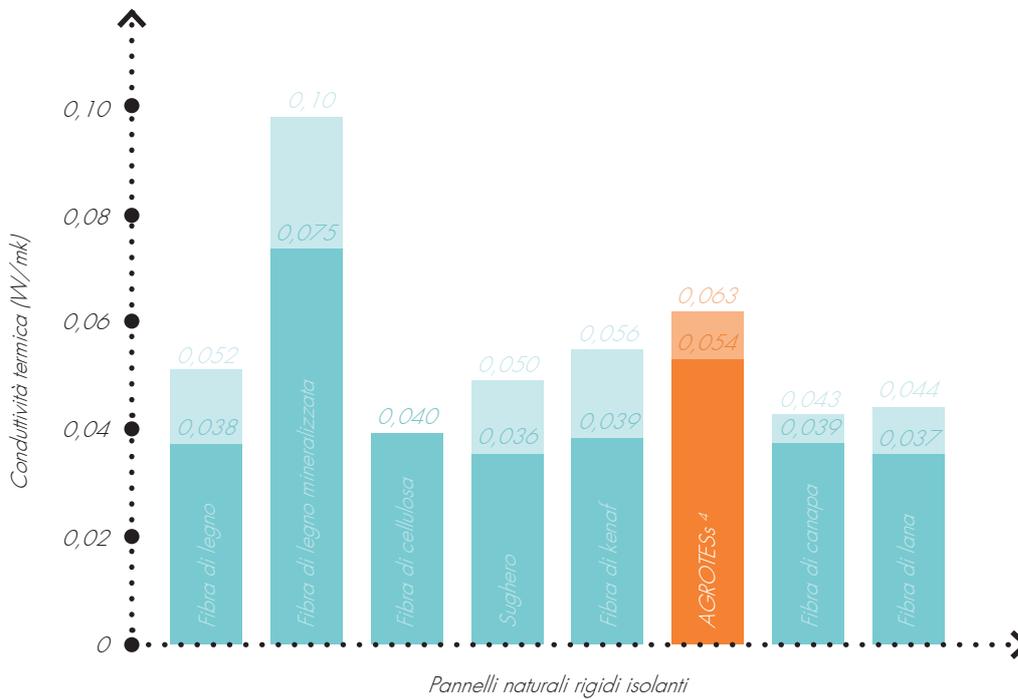
Viene mostrata con questo paragrafo un'analisi non esaustiva ed indicativa delle potenzialità e delle modalità di applicazione dei materiali isolanti *AGROTESs*, sulla base delle caratteristiche attualmente testate e di *altre principali proprietà che si evincono per comparazione*<sup>15</sup> con i pannelli dei precedenti studi. Le proposte varate sono semplicemente delle linee guida, poiché i pannelli per un eventuale commercializzazione, dovranno essere migliorati a livello prestazionale in future ricerche e dunque cambieranno nei loro parametri rappresentativi.

<sup>14</sup> Le prestazioni termiche risultanti per le precedenti ricerche sono state misurate tutte con una metodologia a termoflussimetro, per mezzo di un apparecchio Lasercomp FOX600 Guarded Heat Flux Meter che genera una differenza di temperatura tra le piastre di 20 °C. Le rilevazioni sono state fatte sia allo stato secco che allo stato di umidità controllata a due temperature medie, rispettivamente di 25°C ( $\lambda_{25}$ ) e 40°C ( $\lambda_{40}$ ). Inoltre le dimensioni dei pannelli testati erano decisamente maggiori, comportando dispersioni ed errori percentuali di valutazione della macchina minori.

<sup>15</sup> Secondo i dati acquisiti con le analisi svolte sui campioni, ci si aspetta che i pannelli *AGROTESs* testati abbiano, data la composizione e l'elevata densità dei manufatti, una buona resistenza meccanica, discrete proprietà fonoisolanti, caratteristiche di assorbimento della formaldeide, buona resistenza al fuoco e (nonostante la massa non sia opportuna in termini di igroscopicità) apprezzabili valori di permeabilità al vapore. Si può indicare con sicurezza che la resistenza al fuoco del pannello *AGROTESs A* sia ottima in quanto, precedenti sperimentazioni mediante prove normative, effettuate dal CNR ISMAC di Biella su lastre della stessa composizione e di simile produzione, hanno dato risultati eccellenti in termini di combustibilità e di avestinguibilità della fiamma.

## 7. Pannelli sperimentali

**Grafico 7** - Schema comparativo dei risultati di conducibilità termica con altri pannelli rigidi naturali attualmente sul mercato



Gli utilizzi dei pannelli *AGROTESs* in edilizia potrebbero essere vari, sia in interventi di nuova costruzione che in quelli di ristrutturazione e recupero del patrimonio esistente, qualora si vogliono unire alle prestazioni di isolamento termico ed agli aspetti puramente etici e sostenibili anche quelli di inerzia termica, fonoisolamento, resistenza meccanica e buona resistenza al fuoco. Tra le realtà più interessanti sicuramente ci sarebbe l'uso per l'isolamento interno, esterno o in intercapedine delle chiusure opache dell'involucro e come strato isolante delle partizioni interne verticali, senza distinzione qualora vengano previsti gli utilizzi di sistemi massivi tradizionali o soluzioni leggere assemblate a secco.

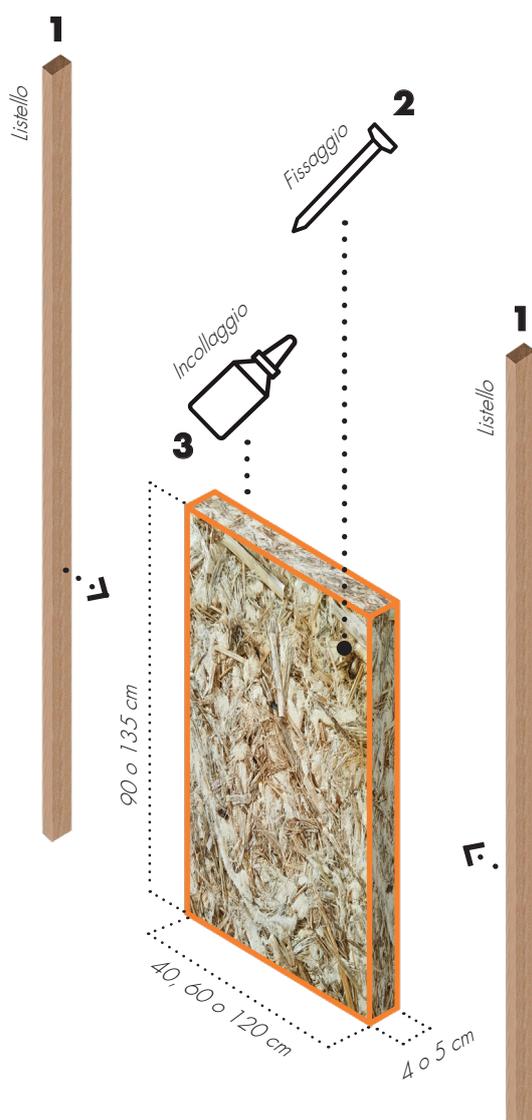
Un utilizzo che si potrebbe prendere in considerazione, data la loro struttura resistente ed a elevata densità, è quello come pannelli isolanti nelle stratigrafie dei solai interpiano e delle coperture inclinate e piane.

L'applicazione dei pannelli, al netto della tipologia di stratigrafia, può avvenire attraverso i consueti metodi oggi adoperati, ovvero mediante incollaggio con malta adesiva o fissaggio con tasselli direttamente a superfici dotate di adeguata resistenza; è usuale prevedere l'unione di entrambi i sistemi. La posa può avvenire anche tramite fissaggio con viti e tasselli a montanti in acciaio o listelli di legno, ancorati alla muratura esistente o a strutture apposite. Questi sostegni hanno una larghezza di circa 5 cm ed una profondità variabile. Il loro interasse solitamente è di 60 cm ma sono comuni anche interassi di 40 cm e di 120 cm qualora l'isolante abbia una buona rigidità strutturale.

La dimensione dei pannelli *AGROTESs* che si può ipotizzare a seguito di una produzione, è vincolata a fattori tecnologici di posa ed alla gestione ottimale del processo produttivo. Il paragone può essere fatto con i pannelli

Cartonlana e FITNESs attualmente prodotti industrialmente presso Davifil s.r.l con dimensioni di 52 x 90 cm e spessore variabile tra i 4 o 5 cm; la dimensione dello spessore è dovuta soprattutto al problema del processo di asciugatura che si riscontra anche a livello industriale. Di fatto è un'operazione, per questo tipo di manufatto, molto lunga e costosa. Prevedere quindi pannelli isolanti con spessori importanti comporterebbe un aumento dei tempi, dei costi e della richiesta energetica per l'essiccazione.

**Grafico 8** - Ipotesi di dimensionamento e le 3 modalità di applicazione dei pannelli



Il dimensionamento proposto in questa ricerca dunque, a seguito di ragionamenti logici, di indagini sulla maggioranza dei produttori di settore e delle precedenti considerazioni, varia nella larghezza con valori di circa 40, 60 o 120 cm e nelle misure di altezza con valori di 90 o 135 cm; lo spessore immaginato non è inferiore ai 4 cm e non supera i 5 cm. Uno spessore ridotto in molti casi favorisce una migliore gestione del prodotto sia in cantiere (movimentazione, posizionamento, eventuale taglio ecc...) che in termini tecnologici (migliore gestione di eventuali ponti termici con accoppiamento stratificato di più pannelli).

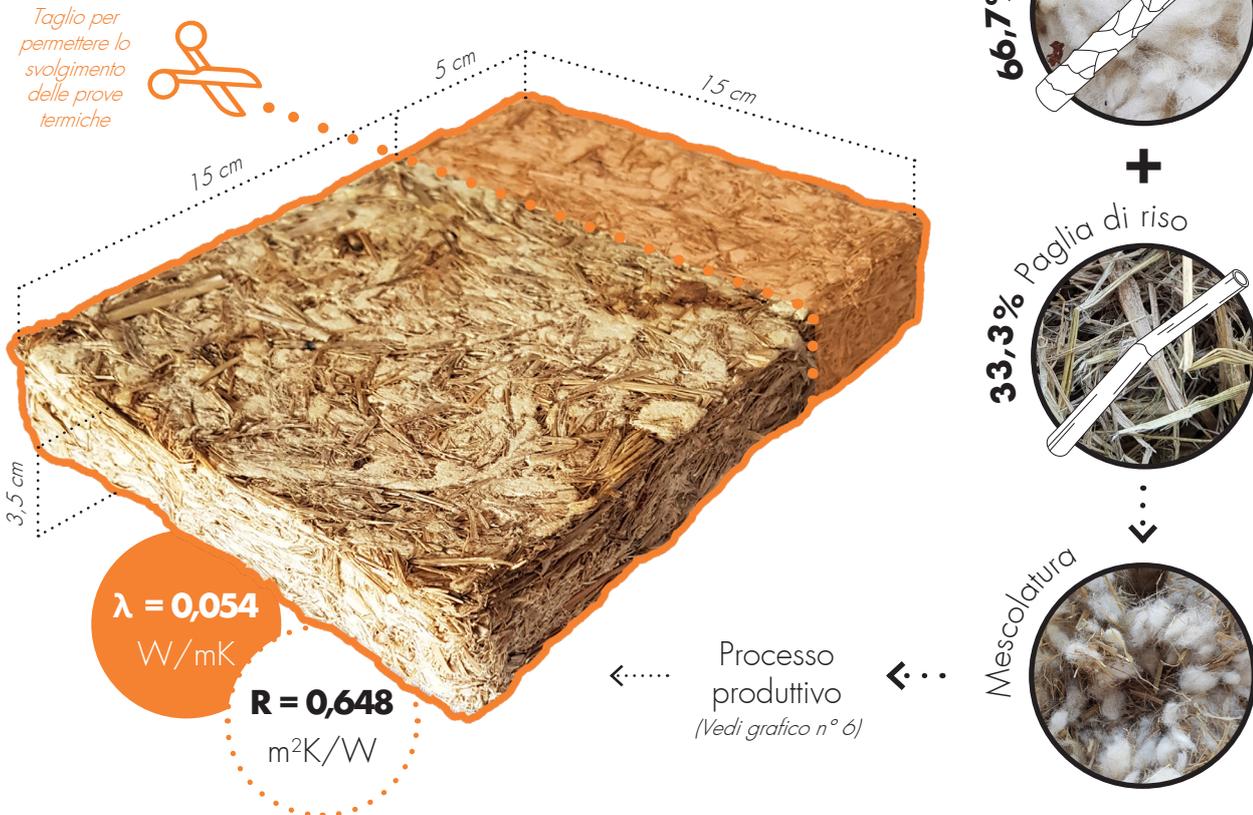
Mentre la dimensione dello spessore è dipendente da fattori produttivi, le grandezze proposte per la larghezza e per l'altezza dipendono puramente dalle tecniche operative edilizie tradizionali. La larghezza indicata infatti è determinata dalla distanza di interasse, precedentemente accennata, che solitamente viene usata qualora vengano previsti e posizionati listelli di legno o montanti in acciaio per l'ancoraggio dei manufatti.

Se si parla di altezza del pannello, essa invece è stata calcolata sulla base della quota tradizionale di interpiano di circa 270 cm, in modo tale da prevedere la minor quantità di tagli manuali (non semplici e non sempre sicuri) del prodotto in fase di cantiere.

La considerazione finale sulla grandezza relativa ai pannelli deve anche essere ponderata sia in base alle attrezzature che si hanno in fase di produzione che dal quantitativo di materia prima necessaria per la formazione del manufatto; pannelli troppo estesi probabilmente possono comportare un utilizzo di residui troppo alto sfavorendo la buona riuscita del trattamento produttivo di idrolisi basica delle cheratine.

## 7. Pannelli sperimentali

### 1 AGROTESs A (fibra di lana italiana e paglia di riso)



Origine	-	mista (animale e vegetale)
Struttura	-	fibrosa
ANALISI INIZIALI		
Dimensioni	cm	20 x 15 x 3,5
Massa	g	228
Volume	cm <sup>3</sup>	1050
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	217
ANALISI IN LABORATORIO		
Dimensioni	cm	15 x 15 x 3,5
Massa	g	161
Volume	cm <sup>3</sup>	787,5
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	204
Conduktività termica ( $\lambda_{20, dry}$ )	W/mK	0,054

Resistenza termica (R)	$m^2K/W$	0,648
Trasmittanza termica (U)	W/m <sup>2</sup> K	1,543

#### Descrizione sintetica

Il pannello *AGROTESs A* si presenta ben amalgamato tra le componenti, mostrando una superficie piana e regolare ed una struttura coesa, fibrosa e porosa; al tatto è discretamente morbido con una minima flessibilità. Il campione si presta ad essere tagliato facilmente e senza fatica con seghetto manuale, lasciando un taglio preciso ma con residui di paglia che sporgono dalla sezione.

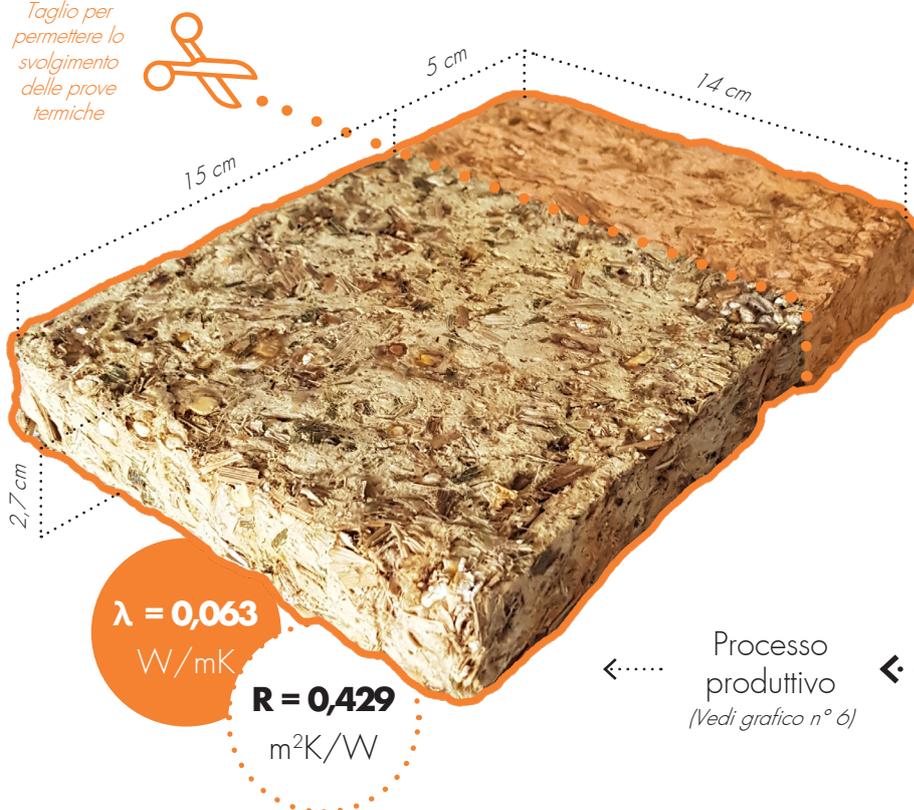
#### Materie prime

- Fibra di lana italiana: da allevatori locali
- Paglia di riso: RiceHouse s.r.l

2

**AGROTESs B**

(fibra di lana italiana e trinciato di mais)

Taglio per  
permettere lo  
svolgimento  
delle prove  
termiche $\lambda = 0,063$ 

W/mK

 $R = 0,429$  $m^2K/W$ Processo  
produttivo  
(Vedi grafico n° 6)

Origine	-	mista (animale e vegetale)
Struttura	-	fibrosa
ANALISI INIZIALI		
Dimensioni	cm	20 x 14 x 2,7
Massa	g	194
Volume	cm <sup>3</sup>	756
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	257
ANALISI IN LABORATORIO		
Dimensioni	cm	15 x 14 x 3,5
Massa	g	141
Volume	cm <sup>3</sup>	567
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	249
Conducibilità termica ( $\lambda_{20, dry}$ )	W/mK	0,063

Resistenza termica (R)	$m^2K/W$	0,429
Trasmittanza termica (U)	$W/m^2K$	2,331

**Descrizione sintetica**

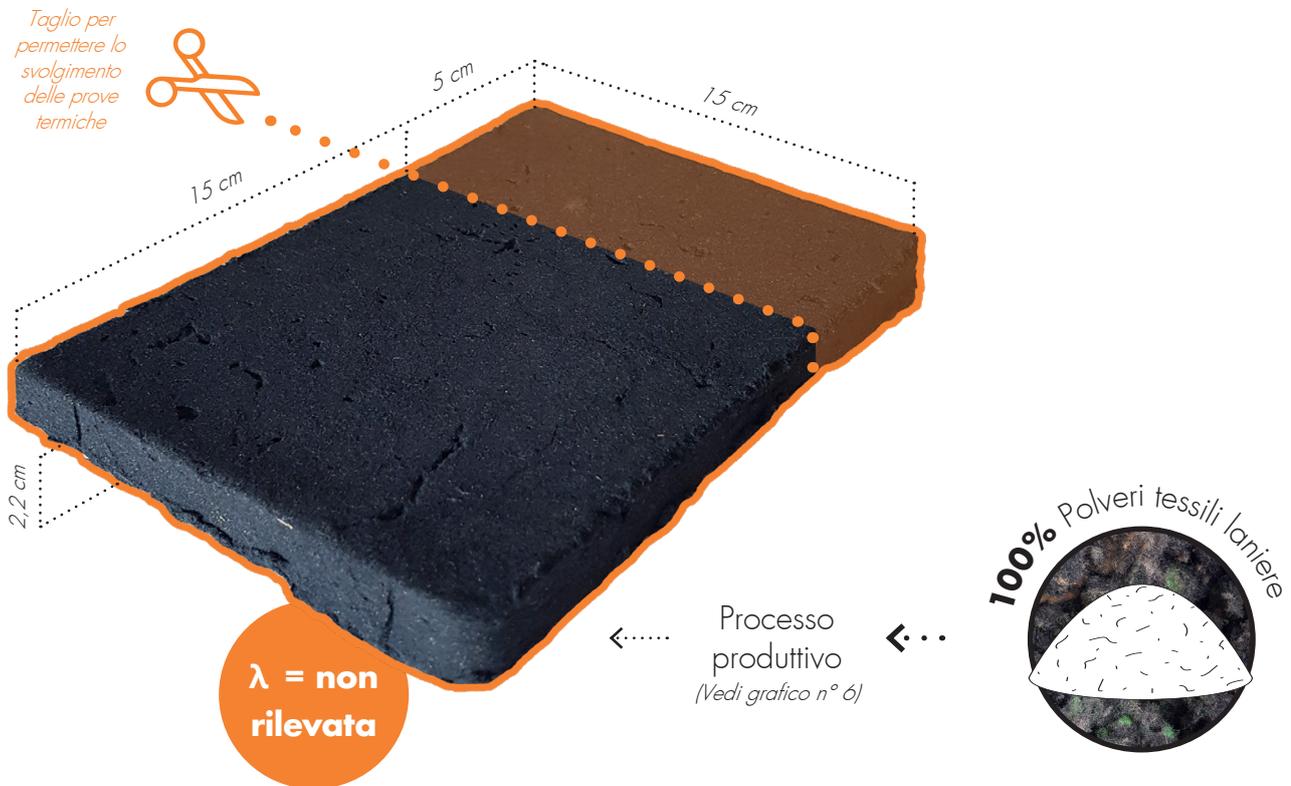
Il pannello *AGROTESs B* è un campione ben coeso tra le componenti, dalla superficie piana ma non sempre regolare ed una struttura decisamente compatta e poco porosa; al tatto è duro e rigido. Il pannello si taglia difficilmente con metodi manuali, in quanto va impiegata molta forza, ma a seguito dell'operazione lascia un taglio molto netto e pulito. Si è riscontrata la comparsa di efflorescenze superficiali, dovute alla fioritura del trinciato di mais.

**Materie prime**

- Fibra di lana italiana: da allevatori locali
- Paglia di riso: Agrindustria Tecco s.r.l

## 7. Pannelli sperimentali

### 3 AGROTESs C (polveri tessili laniere)



Origine	-	<i>mista (prettamente animale, con tracce di vegetale, artificiale e sintetico)</i>
Struttura	-	<i>polverosa e fragile</i>
ANALISI INIZIALI		
Dimensioni	cm	20 x 15 x 2,2
Massa	g	134
Volume	cm <sup>3</sup>	660
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	203
ANALISI IN LABORATORIO		
Valori non misurati a causa della fragilità del campione		

#### Materie prime

- Polveri tessili laniere: Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a

#### Descrizione sintetica

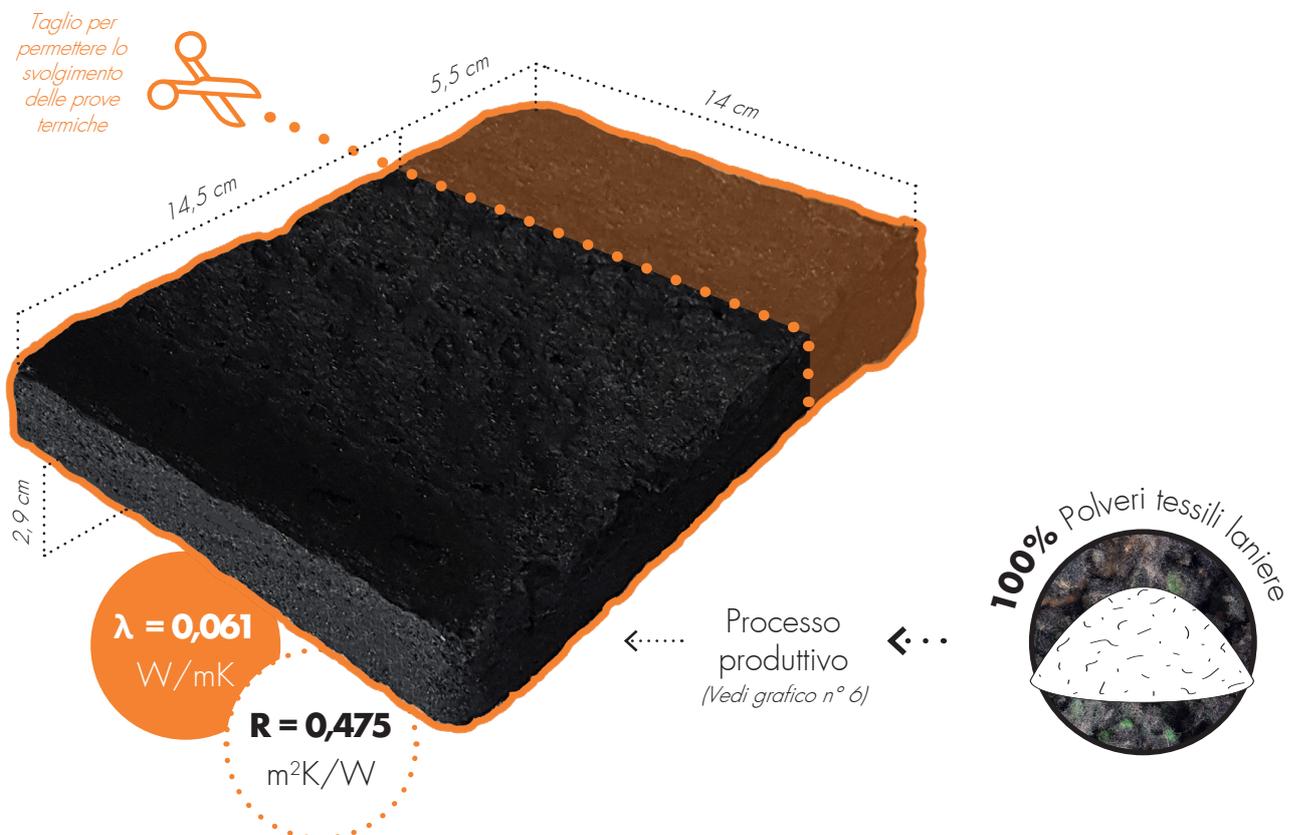
Il pannello *AGROTESs C* manifesta una superficie piana ma non sempre regolare poiché fessurata ed una struttura debole, poco coesa, molto fragile e con tendenza a disgregarsi se sottoposta a consistenti movimentazioni; al tatto lascia residui polverosi come quando viene tagliato. Il taglio del campione avviene senza fatica ma aumenta il rischio di sgretolare in pezzi il pannello costituito.

La fragilità del pannello denota una mancanza di cariche fibrose utili a tenere insieme l'intero aggregato polveroso, evidenziando inoltre la necessità di ulteriori approfondimenti sulle condizioni del processo da applicare con questo tipo di residuo; esso deve essere tale da non danneggiare troppo le microfibre lanose.

4

**AGROTESs C1**

(polveri tessili laniere)



Origine	-	mista (prettamente animale, con tracce di vegetale, artificiale e sintetico)
Struttura	-	polverosa e compatta
ANALISI INIZIALI		
Dimensioni	cm	20 x 14 x 2,9
Massa	g	205
Volume	cm <sup>3</sup>	812
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	252
ANALISI IN LABORATORIO		
Dimensioni	cm	14,5 x 13,5 x 2,9
Massa	g	136
Volume	cm <sup>3</sup>	568
Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>	240
Conduttività termica ( $\lambda_{20,dy}$ )	W/mK	0,061

Resistenza termica (R)	m <sup>2</sup> K/W	0,475
Trasmittanza termica (U)	W/m <sup>2</sup> K	2,105

**Descrizione sintetica**

Il pannello *AGROTESs C1* ha una superficie irregolare ed una struttura massiccia, densa, polverosa ed al tatto molto dura e rigida.

Il campione è molto tenace al taglio manuale in quanto si impiega molto tempo anche a fronte di una forza elevata e costante. Al termine dell'operazione lascia un taglio molto netto, preciso e pulito. Il pannello a seguito dell'asciugatura si è imbarcato a causa della mancanza di neutralizzazione in acido.

**Materie prime**

- Polveri tessili laniere: Finissaggio e Tintoria Ferraris s.p.a



# CONCLUSIONI

L'attività di ricerca ha varato la possibilità di riutilizzare alcuni residui o prodotti derivanti da filiere agroalimentari o tessili della regione Piemonte, per la produzione di materiali isolanti rigidi e sostenibili per l'edilizia. Paglia di riso, trinciato di mais e polveri tessili laniere sono così stati selezionati, sulla base di requisiti specifici, come materiali di supporto (o carica) alla lana italiana, col fine di creare diversi mix design ottimali per la realizzazione di quattro prototipi denominati *AGROTESs (A, B, C e C1)* attraverso il sistema di processo innovativo che sfrutta l'idrolisi basica delle cheratine delle fibre lanose.

I pannelli *AGROTESs* sono considerati uno sviluppo naturale rispetto alle ricerche, svolte in questo campo negli anni passati con i coibenti Cartonlana, FITNESs e successivi, ma nello stesso tempo hanno offerto nuovi punti riflessivi aprendo di fatto orizzonti interessanti di ricerca.

Alla luce dei risultati ottenuti dalla tesi sperimentale proposta, vengono elencate le conclusioni che si possono trarre, le quali sono suddivise, per una migliore comprensione, in:

- *conclusioni relative propriamente ai pannelli;*
- *conclusioni inerenti al processo produttivo e riguardanti le materie prime utilizzate.*

### **Conclusioni relative ai pannelli**

**1** - Dalle analisi qualitative e termiche effettuate su tutti i campioni presentati, sicuramente la sperimentazione che appare globalmente migliore è il pannello in lana e paglia di riso (*AGROTESs A*), viceversa la meno convincente (tanto da non avere i requisiti meccanici per le misurazioni termiche) è uno dei due pannelli in polveri tessili laniere (*AGROTESs C*). I rimanenti due pannelli (*AGROTESs B* in lana italiana e

trinciato di mais e *AGROTESs C1* in polveri tessili laniere) hanno caratteristiche d'insieme tra loro molto simili e si pongono con risultati medi discretamente accettabili.

**2** - Nonostante i buoni riscontri, le prestazioni termiche di tutti i pannelli devono essere migliorate con future ricerche se si vuole pensare di competere sul mercato dei pannelli isolanti rigidi naturali, poiché i valori misurati sono al di sopra della media. Si ipotizzano innanzitutto prove su provini di dimensioni maggiori rispetto alle dimensioni usate per le prove nella ricerca ed una diminuzione delle densità dei pannelli attuabile con apposite compressioni in fase realizzativa.

**3** - Si rendono necessarie prove aggiuntive oltre a quelle che rilevano la conducibilità termica. L'obiettivo è caratterizzare specificatamente i materiali isolanti. Bisognerebbe testare i campioni infatti, anche dal punto di vista delle proprietà meccaniche, acustiche, igroscopiche, di comportamento all'acqua ed al fuoco.

**4** - I pannelli isolanti *AGROTESs* si prestano a molteplici utilizzi in campo architettonico sia nel campo delle nuove costruzioni che delle riqualificazioni, offrendo una buona lavorabilità ed adattandosi ai sistemi tradizionali di ancoraggio. L'eventuale dimensionamento è principalmente vincolato da fattori tecnologici di posa ed alla gestione ottimale del processo produttivo.

### **Conclusioni relative al processo produttivo ed alle materie prime**

**1** - Gli sviluppi della ricerca hanno confermato la validità del sistema produttivo ereditato, avvalorando ed implementando il concetto della "ricetta aperta" studiata per adeguarsi facilmente a diversi residui, di differente natura

e realtà.

**2 -** Si riscontra la necessità di affinare la fase di asciugatura, ad oggi molto complicata sia allo stadio sperimentale che anche in prospettiva di una eventuale produzione. Alcune soluzioni potrebbero essere quelle di pensare a metodi di strizzatura efficaci per la rimozione di buoni quantitativi di liquidi in pre-asciugatura, di utilizzare stampi metallici forati come contenitori della poltiglia dei pannelli ed architettare sistemi di asciugatura a forte pressione che possano favorire l'attraversamento del flusso di calore lungo lo spessore del materiale.

**3 -** L'analisi specifica dei residui o prodotti utilizzati, ha evidenziato come i pannelli *AGROTESs* siano una opportunità di mercato concreta per avalorarli. Il motivo è duplice; sicuramente da una parte si crea un vantaggio economico per il produttore il quale avrebbe l'opportunità di sviluppare un mercato per i propri scarti, non solo risparmiando sui costi di smaltimento ma anzi guadagnandoci dalla vendita. D'altro canto si avrebbero riscontri anche in termini ambientali attivando un'economia circolare che ne evita lo smaltimento (spesso illegale nel caso dei residui agricoli) favorendone la reintegrazione commerciale con conseguenze positive in termini di impatti.

**4 -** Il trinciato di mais non ha dimostrato piena idoneità al processo produttivo favorendo la comparsa di muffe superficiali sul pannello *AGROTESs B* a seguito della sua asciugatura. Si ipotizza, con molta probabilità, una non corretta reazione al trattamento termico in soluzione basica o al lavaggio in soluzione acida oppure la causa potrebbe essere il tempo elevato di asciugatura. A monte, si può considerare perciò, un materiale poco conforme per questa

tipologia di conglomerati. Qualora si volesse persistere nell'analisi degli scarti della filiera maidicola, bisognerebbe concentrarsi su altri tipologie di residui come ad esempio quelli da coltivazione per granella;

**5 -** La paglia di riso non presenta problematiche rilevanti nel campione *AGROTESs A* e dunque si può ritenere un'ottima proposta per i mix design trattati con la produzione proposta. È possibile prevedere comunque ulteriori studi specifici per capire se la fibra vegetale viene in qualche modo danneggiata dalla lavorazione.

**6 -** Le polveri tessili laniere sono i primi e gli unici residui non agroalimentari testati con il sistema di idrolisi alcalina della cheratina; di fatto aprono a nuovi sviluppi e nuovi orizzonti di ricerca per molteplici motivi.

Le risposte ottenute con i pannelli *AGROTESs C* e *AGROTESs C1* sono state buone e decisamente migliorabili. Se all'inizio della tesi il residuo è stato selezionato e pensato come carica polverosa da aggiungere alle fibre di lana italiana, oggi si ha la consapevolezza che le polveri tessili laniere andrebbero studiate a fondo come matrice collante, in sostituzione delle fibre di lana poiché la loro composizione, prettamente cheratinica, ne favorisce la reazione in soluzione basica proprio come la fibra tosata dall'ovino.

Oltre ad affinare i pannelli composti al 100% da polveri tessili cheratiniche, sarebbe sicuramente da sviluppare la suggestiva ipotesi di combinare questi residui tessili ad una carica aggiuntiva fibrosa, sia essa di origine agroalimentare vegetale (ad esempio la paglia di riso) o di altra provenienza. Probabilmente aggiungere una componente fibrosa favorirebbe la porosità ed i comportamenti meccanici dei pannelli.

**7** - Nonostante i quantitativi in gioco dei residui o prodotti analizzati siano molto elevati sul territorio piemontese, tali da permettere di realizzare un numero di pannelli decisamente alto, mettere a sistema uno scenario produttivo completo non è semplice perchè gli elementi da considerare sono tanti (tra gli altri bisogna garantire un approvvigionamento organizzato e costante, un impianto di stoccaggio e trasformazione con macchinari appositi, una rete commerciale ecc...).

# **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA**

## 1. LA SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE EDILIZIO

### BIBLIOGRAFIA

- ANAB – IBN, *Dispense del Corso di edilizia Bioecologica*.
- E.M. Budau, A.A. 2016-2017, *Metodi e strumenti per la valutazione ambientale degli edifici. Confronto tra sistemi costruttivi convenzionali e naturali in un edificio residenziale*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- C. Colombo, O. Ruggieri, A.A.2011-2012, *Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce-canapulo*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano.
- *Sostenibilità applicata alla filiera edilizia e dell'ambiente costruito*, a cura di M. Caffi, M. Mari, in Workshop per ISPRA, 2018, Roma, Italia.

### SITOGRAFIA

- <https://www.lastampa.it/salute/dovete-sapere-che/2019/03/13/news/rapporto-sull'inquinamento-dati-sempre-piu'allarmanti-sul-numero-di-morti-in-europa-1.33687534>
- [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_it](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it)
- <https://www.minambiente.it/pagina/piano-dazione-nazionale-sul-gpp>
- <https://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi>
- <http://www.energiaenergetica.enea.it>
- <http://www.mygreenbuildings.org/2012/11/22/lca-life-cycle-assessment-in-edilizia.html>
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/sviluppo-sostenibile/strumenti-per-lo-sviluppo-sostenibile/dichiarazione-ambientale-di-prodotto-dap>
- <http://www.treccani.it/vocabolario/>
- [http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2\\_4.jsp?lingua=italiano&tema=Ambiente%20e%20salute&area=indor](http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_4.jsp?lingua=italiano&tema=Ambiente%20e%20salute&area=indor)
- <https://www.pexels.com/>

## 2. ISOLAMENTO TERMICO ED ACUSTICO DEGLI EDIFICI

### BIBLIOGRAFIA

- L. Bassi, E. Oleotto. 2006, *Guida agli isolanti naturali*, Edicom Edizioni.
- A. Campioli, M. Lavagna, 2013, *Tecniche e architettura*, Città Studi.
- C. Colombo, O. Ruggieri, A.A.2011-2012, *Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce-canapulo*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano.
- E. De Angelis, E. Mommertz, 2009, *Acustica e isolamento acustico*, Utet Scienze Tecniche.
- F. Faragò, 2008, *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Sistemi Editoriali.
- A. Fassi, L. Maina, 2006, *L'isolamento ecoefficiente*, Edizioni Ambiente.

- I. Oberti, 2011, *L'isolamento termico dell'edificio. Dal materiale alla messa in opera del prodotto*, Maggioli Editore.

#### SITOGRAFIA

- <https://progetti.habitissimo.it/progetto/cos-e-la-terza-pelle>
- <https://www.ideegreen.it/involucro-edilizio-risparmio-energetico-68762.html>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Involucro\\_edilizio](https://it.wikipedia.org/wiki/Involucro_edilizio)
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Isolamento\\_termico](https://it.wikipedia.org/wiki/Isolamento_termico)
- <http://store.uni.com/catalogo/>
- <https://www.teknoring.com/guide/guide-edilizia-e-urbanistica/come-scegliere-lisolante-termico-giusto/>
- <https://www.eco-network.it/isolanti-termici-per-la-casa/>
- <https://www.celenit.com/>
- <https://www.lacasaditerrasrl.it/>
- <https://naturalia-bau.it/>
- <http://www.leobodner.it/>
- <https://www.steico.com/it/prodotti/riassunto/>
- <https://www.euchora.com/>
- <https://www.edilsughero.it/>
- <http://www.sugherificiolombardo.it/sito/>
- <http://www.maiano.it/>
- <http://ton-gruppe.it/>
- <http://www.coltivarelacitta.it/>

.....

### 3. NORMATIVA SUI RESIDUI DI PRODUZIONE

#### BIBLIOGRAFIA

- J.Andreotti, D.Faruku, A.A.2017-2018, *ECOFFI (Ecological Concrete Filled Fibers). Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- S.Fiorina, A.A. 2018-2019, *ReCash<sub>plaster</sub> Recycled Cashmere for plaster. Valorizzazione degli scarti tessili in nuovi prodotti per l'edilizia*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- G.Fuzio, A.A.2018-2019, *REMATTRESS. Nuovi scenari di reimpiego degli scarti prodotti dall'industria del materasso*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- V.Osella, A.A.2017-2018, *Sottoprodotti e rifiuti dell'industria tessile. Formulazione di scenari di reimpiego in architettura*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile,

Politecnico di Torino.

- ANPA – ONR, 2001, *I rifiuti del comparto agroalimentare. Studio di settore.*
- *Il tessile riutilizzabile cerca nuova vita*, a cura di P.Ferri, A.Vaccari, ECOSCIENZA Numero 2, 2017.

#### SITOGRAFIA

- <https://progetti.habitissimo.it/progetto/cos-e-la-terza-pelle>
- <https://www.gazzettaufficiale.it>
- <https://www.teknoring.com/news/rifiuti/sottoprodotti-o-rifiuti-ecco-i-chiarimenti-del-ministero-ambiente/>
- <https://www.ambiente.it/informazione/focus-on/sottoprodotti-novita-e-complicazioni.html>
- <https://www.sfridoo.com/2019/05/11/rifiuti/5-buoni-motivi-per-capire-cose-un-sottoprodotto/>
- <https://www.eea.europa.eu/it>
- <https://www.crea.gov.it/home>
- <http://dati.istat.it/>
- [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/it](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/it)
- <https://www.biomassapp.it/blog/biomasse-energetiche-valore-energetico-dei-residui-agricoli>
- [http://www.nextville.it/Biogas/559/Da\\_quali\\_biomasse](http://www.nextville.it/Biogas/559/Da_quali_biomasse)
- <https://www.voxfabbrica.it/da-160-milioni-di-tonnellate-di-scarti-agroalimentari-i-nuovi-bioprodotto/>
- <https://www.sustainability-lab.net/it/blogs/sustainability-lab-news/riciclo-tessile-un-processo-in-fluido-per-separare-le-fibre.aspx>
- <https://smaltimentorifiuti.veneto.it/smaltimento-rifiuti-tessili/>
- <https://www.pexels.com/>

.....

## 4. RESIDUI AGRICOLI DA ALLEVAMENTO (La lana italiana)

#### BIBLIOGRAFIA

- M. Bonicatti, 1957, *Chimica tessile della lana: procedimenti di lavorazione*, Hoepli, Milano.
- M. Bona, F. A. Isnardi, S. L. Straneo, 1990, *Manuale di tecnologia tessile*, Zanichelli/Esac, Roma.
- T. Burgassi, F. Camilli, 2012, *La lana: rifiuto o risorsa?*, Agriregionieuropa, 8:28, pag. 75.
- M. Cariola, V. Moiso, E. Pagliarino, 2016, *Economia del tessile sostenibile: la lana italiana*, Franco Angeli, Milano.
- R. Fabris, *Appunti del corso di Chimica applicata e Nobilitazione dei Materiali Tessili*, Indirizzo Sistema Moda: Tessile, Abbigliamento e Moda, IIS Q.Sella Biella.
- L. Gallico, 2000, *La Lana*, Eventi & Progetti Editore, Vigliano biellese (BI).
- A. Mauro, *Struttura e proprietà chimiche e fisiche delle fibre di lana*, Tecnotessile - Centro Ricerche S.p.a nel quadro del Progetto "Controllo di qualità delle lavorazioni e dei prodotti tessili lanieri", Prato.

#### SITOGRAFIA

- <http://www.medlaine.eu/index.php?id=48#prezzolana>

- <http://www.treccani.it/vocabolario/>
- <https://www.chimica-online.it>
- <http://www.isolantelanadipecora.it/pannelli-isolanti-in-lana-di-pecora.html>
- [https://www.edilportale.com/aziende/edilana\\_82624.html](https://www.edilportale.com/aziende/edilana_82624.html)
- <http://www.politichepiemonte.it/argomenti/colonna2/industria-e-servizi/558-la-filiera-della-lana-rustica>
- [https://torino.repubblica.it/cronaca/2010/03/28/news/il\\_piemonte\\_torna\\_a\\_filare\\_la\\_lana-2981208/](https://torino.repubblica.it/cronaca/2010/03/28/news/il_piemonte_torna_a_filare_la_lana-2981208/)
- <http://dati.istat.it/Index.aspx#>
- [https://www.vetinfo.it/j6\\_statistiche/#/](https://www.vetinfo.it/j6_statistiche/#/)
- <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/fondi-progetti-europei>
- <http://www.agraria.org/ovini.htm>
- <https://www.biellathewoolcompany.it/>
- <http://www.tessilecrabolu.com/>
- <https://arpin1817.com/fr/>
- <http://www.lestisserands.it/>
- <http://www.edilana.com/index.asp>
- <http://www.wool4build.com/it/>
- <http://www.maiano.it/edilizia/naturtherm-wo-isolante-termoacustico-in-lana-di-pecora.html>
- <https://www.brebey.com/>
- <https://www.davifil-bioisol.com/>
- <http://www.coltivareinlana.it/>
- <http://www.life-greenwoolf.eu/>
- <https://www.gesal.ch//ch/it/start>
- <https://www.compo-hobby.it/it/it/start>
- <http://www.woolres.com/>
- <https://www.pointex.eu/biochar>
- <https://unsplash.com/>
- <https://pixabay.com/it/>

.....

## **5. RESIDUI AGRICOLI DA COLTIVAZIONE (La paglia di riso e il trinciato di mais)**

### BIBLIOGRAFIA

- J.Andreotti, D.Faruku, A.A.2017-2018, *ECOFFI (Ecological Concrete Filled Fibers). Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- E.M. Budau, A.A. 2016-2017, *Metodi e strumenti per la valutazione ambientale degli edifici*.

*Confronto tra sistemi costruttivi convenzionali e naturali in un edificio residenziale*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.

- A. Ferrero, et.al, 2009, *Il riso*, Collana Coltura & Cultura, HRE Edizioni S.r.l.

- T. Maggiore, et.al 2009, *Il mais*, Collana Coltura & Cultura, HRE Edizioni S.r.l.

- *Agronomia*, a cura del CIB- Consorzio Italiano Biogas e Gassificazione, Speciale della rivista italiana Biogas informa, 2013.

- *MAIS: come produrre un trinciato di qualità*, a cura di Libera Associazione Agricoltori Cremonesi, Confagricoltura di Brescia e CREA, 2019.

## SITOGRAFIA

- <https://www.cure-naturali.it/enciclopedia-naturale/alimentazione/nutrizione/cereali.html>

- <https://it.wikipedia.org/wiki/Cereali>

- <https://www.crea.gov.it/home>

- [https://www.enterisi.it/servizi/notizie/notizie\\_homepage.aspx](https://www.enterisi.it/servizi/notizie/notizie_homepage.aspx)

- [https://it.wikipedia.org/wiki/Riso\\_\(alimento\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Riso_(alimento))

- <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/riso.htm>

- <https://www.risoitaliano.eu/la-coltivazione-del-riso/>

- <https://www.colturaecultura.it/>

- <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

- <http://dati.istat.it/>

- <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw>

- <https://www.irri.org/>

- <https://it.wikipedia.org/wiki/Paglia>

- <https://www.chimica-online.it/materiali/proprietà-del-legno.htm>

- <https://www.caseinpaglia.it/>

- <https://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/case-di-paglia-tecnologia-isolamento-e-posa-in-opera/>

- <https://ec.europa.eu/eurostat>

- <http://www.assomais.it/>

- <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/mais.htm>

- [https://it.wikipedia.org/wiki/Zea\\_mays](https://it.wikipedia.org/wiki/Zea_mays)

- <https://it.wikipedia.org/wiki/Silomais>

- <https://informatorezootecnico.edagricole.it/bovini-da-latte/silomais-punti-critici-nella-sua-produzione/>

- <https://www.ruminantia.it/quanto-si-perde-con-il-riscaldamento-dellinsilato/>

- <https://unsplash.com/>

- <https://www.ricehouse.it/>

- <https://pixabay.com/it/>

## 6. RESIDUI TESSILI DA LAVORAZIONE (Le polveri tessili laniere)

### BIBLIOGRAFIA

- R. Fabris, *Appunti del corso di Chimica applicata e Nobilitazione dei Materiali Tessili*, Indirizzo Sistema Moda: Tessile, Abbigliamento e Moda, IIS Q.Sella Biella.
- S.Fiorina, A.A. 2018-2019, *ReCash<sub>plaster</sub> Recycled Cashmere for plaster. Valorizzazione degli scarti tessili in nuovi prodotti per l'edilizia*, Tesi di Laurea Magistrale Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.
- M. A. Maggioni, 2008, *Il distretto tessile biellese. L'eccellenza sfida la crisi*, Enciclopedia delle Economie Territoriali, vol. 5 supplemento a Quaderni di Fondazione Fiera Milano, Milano.
- D. G. Sammartano, A.A. 2018-2019. *Il Rischio di Esplosione da Polveri nell'Industria Laniera*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Chimica e dei Processi Sostenibili, Politecnico di Torino.
- ARPA Piemonte, 2006, *Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero*.
- E. Carisconi, S.Dotti, et.al, 2008, *La filatura cotoniera e laniera*, Fondazione ACIMIT, Milano.

### SITOGRAFIA

- <https://www.mondopmi.com/mercati-e-settori/distretti-industriali-cosa-sono-e-quali-sono-i-piu-importanti-in-italia>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Distretto\\_industriale](https://it.wikipedia.org/wiki/Distretto_industriale)
- <https://www.lmtecnologie.com/aree/impianti-aspirazione-industria-tessile.html>
- <https://www.tintoriaferraris.com/>
- <https://unsplash.com/>

---

## 7. PANNELLI SPERIMENTALI (AGROTESs)

### BIBLIOGRAFIA

- D. Bosia, R. Giordano, L. Savio, 2011, *Progetto locale ecocompatibile di filiera di prodotto: pannelli isolanti innovativi in lana di pecora*, in "TECHNE", 01, pag. 110-115.
- *Fitness: sheep-wool and hemp sustainable insulation panels*, a cura di D. Bosia, S. Fantucci, A. Patrucco, R. Pennacchio, G. Piccablotto, L. Savio, F. Thiebat, in "8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings", 2016, Torino, Italia.
- *Natural fibers insulation panels: an adaptive production*, a cura di D. Bosia, V. Manni, A. Patrucco, R. Pennacchio, L. Savio, F. Thiebat, in "Relating Systems Thinking and Design (RSD7) 7th Symposium", 2018, Torino, Italia.

### SITOGRAFIA

- <https://www.ricehouse.it/>
- <https://www.agrind.it/>

- <https://www.tintoriaferraris.com/>
- <http://www.tecnopiemonte.com/>
- <https://www.giordano.it/>
- <https://www.davifil-bioisol.com/>
- <https://www.uni.com/>
- <http://www.lambda-messtechnik.de/en/thermal-conductivity-test-tool-ep500e.html>



