
IL SUGHER  **in edilizia:**
nuovi possibili scenari in Sardegna



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città
Anno Accademico 2020/2021

Tesi di Laurea Magistrale

Il sughero in edilizia:
nuovi possibili scenari in Sardegna

Relatrici:
Prof.ssa Elena Montacchini
Prof.ssa Angela Lacirignola

Candidata:
Alessandra Andrea Manca

ABSTRACT

Oggi giorno, uno dei temi più trattati nel dibattito architettonico è quello riguardante il modello di produzione e consumo: se, da sempre, la Linear economy è stato il modello più utilizzato, l'attenzione si sta spostando sul modello della Circular economy, in ottica di ottimizzazione delle risorse sostenibili. A partire da questo assunto, il lavoro di ricerca si interroga sulle potenzialità del sughero, materiale che viene estratto dalla sughera (*Quercus suber L.*), ed è emblematico per l'economia circolare, grazie all'assenza di scarti durante la produzione. Le ricerche iniziali si sono concentrate sul comparto produttivo della regione Sardegna, da sempre capofila del settore. Inoltre, le maestranze locali cooperano per tramandare i segreti del mestiere, cercando di conciliare tradizione e innovazione in un mercato sempre più all'avanguardia. Partendo dal contesto regionale, si è passati a un'analisi più ampia, riguardante il mercato internazionale e, più nello specifico, quello portoghese, leader del settore, contraddistinto da una gamma più ampia di prodotti derivati dall'industria del sughero. A tale scopo, all'interno dell'elaborato sono presenti i materiali a base sughero, utilizzati in edilizia e altri settori, riportati sotto forma di schede. Queste schede, unite ad una ricca letteratura scientifica, rappresentano una "fotografia" del sughero allo stato attuale e costituiscono una buona base tecnica per la proposta di nuovi prodotti per l'edilizia. Infatti, la terza ed ultima parte del presente elaborato vuole inquadrare e proporre nuovi possibili scenari che utilizzano materiali naturali e facilmente reperibili sul territorio sardo, per lo sviluppo di nuovi compositi. Nei capitoli dedicati alle due ipotesi sono indicate le modalità di combinazione, le quantità necessarie e i relativi processi produttivi, utili al completamento del prodotto finito. Questi scenari proposti vogliono fungere da supporto per una futura sperimentazione pratica sul campo.

INDICE

Premessa

PARTE I: INTRODUZIONE AL SUGHERO E ALLA SUA FILIERA PRODUTTIVA

1 IL SUGHERO

Pag. 13

- 1.1 Le origini
- 1.2 Il materiale
- 1.3 Le sue proprietà
- 1.4 La diffusione della quercia da sughero
- 1.5 Il ciclo produttivo del sughero
- 1.6 La produzione a livello internazionale

2 LA FILIERA DEL SUGHERO IN SARDEGNA

Pag.37

- 2.1 Analisi territoriale
- 2.2 Indicazioni normative
- 2.3 Produzione a livello regionale
- 2.4 Indagine sul campo
 - 2.4.1 Interviste agli estrattori
 - 2.4.2 Interviste ai produttori
- 2.5 Limiti e criticità della filiera

PARTE II: INDAGINE TECNICO-SCIENTIFICA SUL SUGHERO

3 RICERCA E STATO DELL'ARTE

Pag. 59

- 3.1 Introduzione
- 3.2 Ricerca scientifica
 - 3.2.1 Raccolta dati
 - 3.2.2 Discussione dei dati
- 3.3 Catalogazione dei materiali e ricerca sul mercato
 - 3.3.1 Portfolio materiali a base sughero
 - 3.3.2 Le schede dei materiali

3.4 Riciclo

- 3.4.1 Iniziative internazionali
 - 3.4.2 Iniziative nazionali
 - 3.4.3 Iniziative regionali
- 3.5 Riflessioni sulla ricerca

PARTE III: PROPOSTE PER NUOVI SCENARI

4 SCENARIO 1: Blocco termo-isolante in terra cruda e sughero

Pag. 113

- 4.1 Obiettivi
- 4.2 Riferimenti in letteratura
- 4.3 Il materiale
- 4.4 Strategia di produzione
- 4.5 Risultati attesi e possibili applicazioni

5 SCENARIO 2: Pannello isolante in fibra di lana di pecora e sughero

Pag.131

- 5.1 Obiettivi
- 5.2 Riferimenti in letteratura
- 5.3 Il materiale
- 5.4 Strategia di produzione
- 5.5 Risultati attesi e possibili applicazioni

6 CONCLUSIONI

Pag. 149

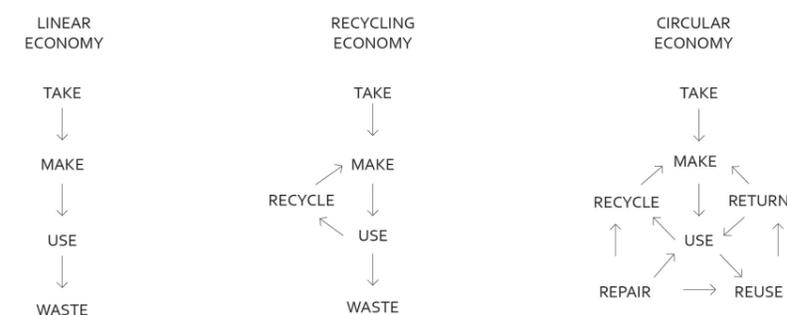
- 6.1 Prospettive per la sperimentazione futura

7 BIBLIOGRAFIA

Pag.153

PREMESSA

Nell'ultimo decennio tutti gli attori che fanno parte del mondo dell'architettura ragionano sul costruito con l'intento di rispettare l'ambiente e le risorse naturali in esso presenti, e le esperienze del passato ritornano ad essere utili per rendere migliore il benessere dell'uomo all'interno di un edificio. Nell'età contemporanea il modello di produzione e consumo si basa sulla Linear economy, la quale prevede l'estrazione e la trasformazione di materie prime in prodotti che vengono considerati rifiuti alla fine del loro utilizzo. A seguito delle recenti politiche di sviluppo della Comunità Europea sulla gestione dei rifiuti, sono emerse nuove opportunità come ad esempio la Bio-economy e la Circular economy: quest'ultima si basa sull'eliminazione degli scarti che vengono successivamente riutilizzati come materie prime seconde per la creazione di nuovi prodotti [1].



Questa nuova modalità di agire potrebbe essere una buona soluzione per ridurre le emissioni di CO₂ e allo stesso tempo dovrebbe avere un impatto significativo sull'aspetto finanziario delle imprese che lo utilizzano. Uno dei pilastri sui quali si fonda il modello di produzione e consumo della Circular economy è l'utilizzo di risorse sostenibili, ovvero materie prime rinnovabili, riciclabili e biodegradabili. Questo, può essere applicato all'edilizia, la quale è oggi giorno improntata verso il recupero del patrimonio edilizio già esistente e il riciclo dei materiali. Tali materiali, devono rispettare requisiti fondamentali, ovvero la lunga durata, compatibilità con altri materiali, semplice manutenzione. I materiali naturali non richiedono un consumo di energia eccessivo e sono soprattutto economici dal punto di vista del trasporto. In questo contesto, i materiali devono essere:

- prodotti con poca energia o scaturiscono dal riciclaggio;
- non devono danneggiare la salute dell'uomo;

- le materie prime utilizzate devono essere al 100% naturali senza l'aggiunta di sostanze petrolchimiche;
- producono poche spese di gestione e manutenzione [2].

Inoltre, l'economia circolare è una buona soluzione per risolvere il problema di mercato legato alla mancanza di materie prime, con un conseguente aumento del prezzo e in generale un aumento dei costi di produzione e gestione dei rifiuti. Tali considerazioni trovano nel comparto del sughero terreno fertile, date le grandi potenzialità del prodotto, in quanto naturale rinnovabile e riciclabile per eccellenza.

Il sughero, oggetto di questa tesi, è un materiale di origine vegetale, viene estratto dalla quercia (*Quercus suber L.*) e presenta grandi potenzialità per il suo impiego in diversi settori. La quercia da sughero fa parte della macchia mediterranea e caratterizza i paesaggi di alcuni Paesi europei. Fra questi, il Portogallo è primo per la produzione mondiale e presenta un vantaggio rispetto alla filiera italiana, ovvero il costo della manodopera inferiore, favorendo una forte competitività e una costante ricerca finalizzata all'innovazione del prodotto (Tola, 2012). Per quanto riguarda la produzione italiana, la Sardegna figura come eccellenza nazionale, in quanto produce e trasforma i due terzi della produzione totale. Il centro produttivo sardo lo ritroviamo nel comune di Calangianus, definita "capitale del sughero" in quanto ha il maggior numero di imprese industriali e artigianali su territorio. Nel corso del tempo la Sardegna si è specializzata nella lavorazione di questo materiale, dando vita ad una filiera innovativa e competitiva sul mercato. La competitività del materiale è data però dalla sola produzione del tappo, sulla quale tutto il comparto investe a discapito di altri prodotti come quelli destinati all'edilizia, ovvero gli agglomerati. Il presente lavoro di tesi vuole indagare il sughero, non solo sotto l'aspetto meramente produttivo, ma anche per quanto riguarda la sua versatilità in numerosi impieghi destinati a diversi settori, al fine di creare una "fotografia" di cosa rappresenta attualmente questo materiale e come possa essere sfruttato per future applicazioni. L'attività di ricerca è stata svolta per step, un work in progress che ha determinato le proposte finali destinate ad una filiera specifica. Lo studio del sughero, presente nel capitolo 1, ha generato interrogativi riguardanti la Sardegna, la quale, come già accennato, lavora e trasforma l'80% della produzione nazionale.

Per questa ragione, sono stati proposti dei questionari esplorativi nel capitolo 2, utilizzati come strumenti d'indagine al fine di inquadrare la filiera sarda secondo due punti di vista fondamentali per il comparto: gli estrattori, ovvero le prime figure insostituibili che entrano a contatto con il sughero, e le aziende che costituiscono parte integrante e sostanziale del processo produttivo.

Dalle interviste sono emerse una serie di criticità che mi hanno portato ad uno step di ricerca ancora più approfondito, nel quale si vuole investigare quali sono i prodotti già presenti sul mercato e quali, grazie alle ricerche scientifiche, le possibilità testate solo a livello sperimentale.

I prodotti individuati sono per la maggior parte combinati con altri materiali, e presentano caratteristiche e prestazioni migliori rispetto al materiale utilizzato singolarmente. La loro identificazione è stata possibile mediante l'utilizzo di motori di ricerca online, i quali hanno fornito testi e articoli scientifici concernenti l'argomento sughero, e più nello specifico, le possibili combinazioni con altri materiali. Infatti, all'interno dell'elaborato, precisamente nel capitolo 3, sono presenti schedature che raccontano questi materiali e che li classificano secondo categorie e parametri prestabiliti. La fase di ricerca si conclude con una puntualizzazione sulle iniziative di riciclo presenti sui territori in cui il sughero nasce, vive e viene lavorato. Queste iniziative sono programmi o progetti che hanno scopi precisi e che nella maggior parte dei casi vogliono promuovere il materiale e la sostenibilità in un contesto sempre più orientato verso la salvaguardia dell'ambiente.

Infine, grazie alla stesura delle schedature e allo studio della bibliografia presente in letteratura, è ammissibile proporre nuovi possibili scenari in Sardegna, combinando il sughero con due materiali che fanno parte del panorama sardo e che contribuiscono alla valorizzazione di materie prime, in quanto materiali naturali in contesti specifici. Per la definizione di questi scenari è stato fondamentale lo studio dei processi produttivi e delle tecniche che riguardano ogni materiale scelto, allo scopo di suggerire un punto di partenza teorico per future sperimentazioni pratiche e applicazioni in edilizia.

PARTE I : INTRODUZIONE AL SUGHERO E ALLA SUA FILIERA PRODUTTIVA

1. Il sughero

1.1 Le origini

Il sughero è un materiale naturale e rinnovabile, per questo può essere considerato un materiale eco-sostenibile. Si ricava dall'estrazione della corteccia della *Quercus Suber L.* detta sughera [Figura 1.1]. Questa specie vive in media circa 200 anni e possiede una notevole capacità di rigenerazione. La sughera è un tipo di albero sempreverde e fa parte della famiglia delle Fagaceae. Si adatta perfettamente al territorio del bacino del Mediterraneo dove, da tempi remoti, cresce e vive. Questa pianta forma bosco, ha un'altezza media di 10 m ma può arrivare a 20-22 m, la circonferenza dei tronchi può arrivare fino a 4 m con rami sinuosi e biforcati. Inoltre, non richiede molte cure [3].

La corteccia di questa pianta risulta giallo-scura mentre è rossa una volta estratto il sughero. Le foglie sono di colore verde scuro, sono sinuose e caratterizzate da una nervatura centrale primaria che può diramarsi fino a otto coppie secondarie, la loro fioritura avviene nel mese di maggio. I frutti che ne derivano, ovvero le ghiande, sono di forma ovale, misurano circa 1,5-3 cm e il legno della quercia è un ottimo combustibile (Guarnaccia, 2015).



Figura 1.1 *Quercus suber L.*

Fonte: <https://www.lofficinadeiviaggi.com/news/66/portogallola-tradizione-della-lavorazione-del-sughero/>

Nel periodo invernale la crescita della corteccia rallenta perché è influenzata dalla piovosità e dalla temperatura esterna. In particolare, la corteccia è l'intervallo fra due strati scuri consecutivi detti "anello annuale". Infatti, le cellule appena nate continuano a modificarsi nel corso del tempo, subiscono un aumento di volume e questo conduce all'ispessimento del diametro dell'albero. La sughera si adatta alla siccità e resiste agli incendi grazie alla protezione della corteccia. La corteccia è quindi una difesa che assicura agli strati sottostanti vivi di non essere compromessi e può essere ritenuta come un privilegio rispetto alle altre specie.

Dopo un incendio, la rimozione della corteccia è un'operazione determinante affinché la quercia possa rimanere viva e generare altra corteccia. Inoltre, questa specie è fondamentale nel processo di protezione del pianeta dal surriscaldamento globale perché, oltre a produrre e rilasciare ossigeno con la fotosintesi, intrappolano CO₂, ovvero uno dei principali gas serra: si stima che ogni anno le sugherete del Mediterraneo assorbono 14 milioni di tonnellate di CO₂.

Infine, le sugherete svolgono un ruolo socioeconomico vitale, non solo per la produzione di materiali a base sughero, ma anche per il suo frutto: la ghianda. La ghianda viene utilizzata come mangime e per la produzione di oli alimentari, compost di semi e verdure, caccia, erbe medicinali e gastronomiche e funghi (Mestre, Gil, 2011).

1.2 Il materiale

Come abbiamo detto, il sughero è la parte terminale della *Quercus Suber* L. Infatti, esso nasce come impermeabilizzante e isolante termico del fusto (Vinaccia, 1940) e gioca un ruolo fondamentale in quanto barriera protettiva tra l'organismo e l'ambiente esterno.

Attorno alla corteccia primaria, denominata "madre", si presenta un notevole sviluppo di spessore dentro il quale scorre la linfa e che viene chiamato fellogeno [Figura 1.2]. Il fellogeno ha la capacità di dividersi e riprodursi, ovvero la capacità meristemica: produce la corteccia composta da cellule, quindi il sughero verso l'esterno e il felloderma verso l'interno.

Il sughero è detto "materiale cellulare"⁽¹⁾ perché è costituito da cellule piccole di forma tabulare con membrane poco ispessite che sono disposte in serie regolari radiali (perpendicolari al tronco della quercia), sono prive di spazi intercellulari che determinano le sue proprietà isolanti date dall'attitudine di dissipare energia, classificandolo a tutti gli effetti idoneo all'isolamento più generico. Infatti, questo materiale viene classificato come un tessuto tegumentale secondario in quanto riveste, con uno strato più o meno spesso, la quercia. La traspirazione del fusto avviene attraverso pori pieni di polvere soffice detti lenticelle: questi pori sono formati da cellule morte, non suberificati e mettono in comunicazione il tessuto vivo con la parte esterna (Vinaccia, 1940). Le lenticelle sono composte da cellule aventi un profilo arrotondato e definiscono gli spazi fra una cellula e l'altra. Ogni cellula, di forma prismatica, pentagonale o esagonale, misura dai 10 ai 50 millesimi di millimetro, quindi ogni cm³ di sughero

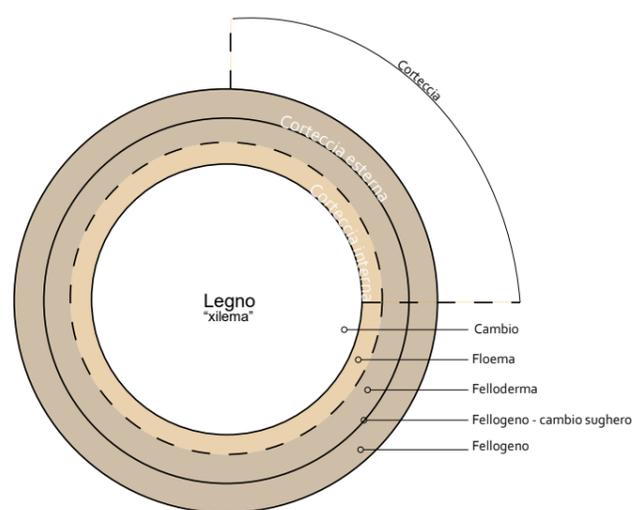


Figura 1.2 Sezione del tronco
Fonte: Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., Gabarrell Durany, X. *Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in Southern Europe (Catalonia - Spain)*. Journal of Cleaner Production - J CLEAN PROD, 2011. Rielaborazione dell'autore.

contiene circa 40 milioni di cellule. Da qui il termine "solido cellulare" che indica tutti quei materiali composti da un insieme di celle che contengono gas. Questi materiali di origine naturale, ed in particolare il sughero, furono descritti a livello microscopico per la prima volta da Robert Hooke, pioniere della legge dell'elasticità, in *Micrographia* nel 1665.

"[...] it had a very little solid substance, in comparison of the empty cavity as does more manifestly appear by the Figure, walls or partitions of those pores were near as thin in proportion to their pores, as those thin films of wax in a honey-comb (which enclose and constitute the sexangular cells) are to theirs."⁽²⁾

La composizione chimica del sughero è stata studiata da vari autori nel passato. Lo studio più recente, condotto da Helena Pereira nel 2013 espone la media delle caratteristiche di sughero provenienti da 29 località diverse. Le cellule di sughero sono composte per il 10% di sostanze di natura tannica solubili in acqua; il 5% di sostanze di natura cerosa estraibili con solventi; il 45% di sostanze saponificabili detta suberina; il 30% di lignina e cellulosa; 10% di acqua, ceneri e altro^{(3),(4)} [Grafico 1.1]. La suberina è un biopolimero che funziona da filtro fra la pianta e l'ambiente esterno ed è costituito da una miscela di acidi grassi a catena lunga, acidi grassi ossidrilati, acidi bicarbossilici, alcoli a lunga catena e composti fenolici.

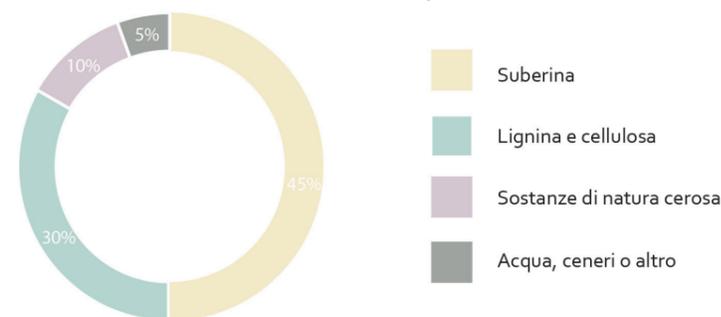


Grafico 1.1 Composizione chimica della cellula del sughero

Più in generale, la suberina è una cera biologica che ricopre le pareti di ogni cellula, blocca il passaggio di aria dando al sughero impermeabilità all'acqua e conferisce alle pareti cellulari suberizzate un aspetto lamellare (Gandini, Neto, Carlos & Silvestre, 2006). La leggerezza del materiale è dovuta alla presenza di gas all'interno di ogni cellula; la loro unione invece dona le caratteristiche di compressione e elasticità.

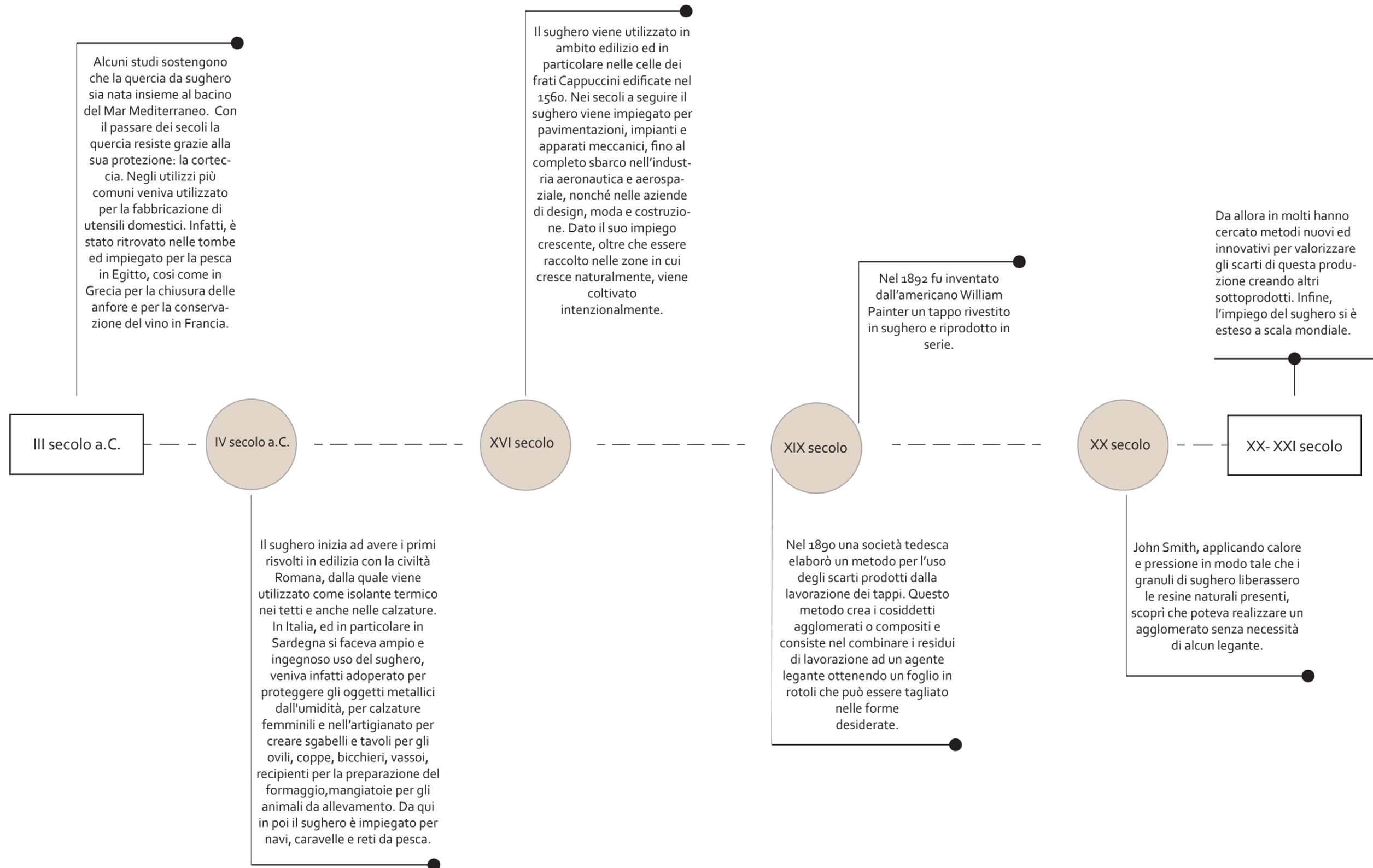
Grazie alle sue caratteristiche, il sughero è una materia prima conosciuta ed utilizzata già in età antiche. Nel corso dei secoli il sughero viene studiato ed impiegato in edilizia e nel settore calzaturiero, ma vede il suo più grande utilizzo, a partire dal 1892, in ambito enologico con la produzione di tappi per vini e champagne. Gli impieghi del sughero nel tempo sono raccontati nel seguente grafico che ne riassume usi e applicazioni fino ai nostri tempi.

(1) Silva, S.P., Sabino, M.A., Fern, E.M., Corrello, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L. *Cork: properties, capabilities and applications*, Maney Publishing, 2005, p.346.

(2) Hooke, R. *Micrographia*, Royal Society, Gran Bretagna, 1665.

(3) Guarnaccia, F. *Sughero*, Isia, Firenze, 2015, p.16.

(4) Silva, S.P., Sabino, M.A., Fern, E.M., Corrello, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L. *Cork: properties, capabilities and applications*, Maney Publishing, 2005, p.348.



Fonti:

- Guarnaccia, F. *Sughero*, Isia, Firenze, 2015, pp. 7-9.
- Sodano, M. *Valutazione delle prestazioni ambientali di un rivestimento isolante termoacustico attraverso la metodologia LCA* (2014). Web. pp.15-16.

1.3 Le sue proprietà

Le caratteristiche chimico-fisiche del sughero sono dunque influenzate dalla particolare struttura cellulare e dalla presenza predominante della suberina, le quali assegnano ad esso leggerezza, elasticità, impermeabilità, isolamento, resistenza al fuoco, inerzia, aderenza, durezza e sostenibilità (Guarnaccia, 2015).

Leggerezza. Ha un peso specifico molto basso, perché è formato da una struttura cava con circa 36 milioni di cellule piene di azoto e ossigeno che costituiscono l'89,7% della sua massa. La bassa densità del sughero, data dalle celle chiuse senza collegamenti, ne determina la capacità di galleggiare, attitudine che è sempre stata sfruttata fin a partire dall'antichità. Il galleggiamento è dovuto anche al fatto che all'interno delle celle è presente un basso contenuto di acqua.

Elasticità. Grazie alla flessibilità della membrana, le cellule ritrovano la loro forma originaria dopo essere state compresse. Questa caratteristica trova riscontro nel "fattore rapporto" o "coefficiente di Poisson", che risulta essere uguale a zero perché, durante la compressione in direzione assiale possiamo notare la considerevole riduzione di volume ma senza la significativa variazione delle dimensioni laterali. Il sughero ha quindi una forza di reazione uguale e contraria detta "resilienza". Questa capacità diminuisce con il tempo di compressione e con la quantità di pressione esercitata.

Impermeabilità. Tale caratteristica è dovuta alla struttura e alla composizione chimica del sughero, ovvero alla presenza della suberina e alla pressione che si crea dai gas presenti all'interno delle cellule.

Isolamento. La particolare struttura cellulare e la suberina sono fondamentali per questa caratteristica, donano un forte potere isolante e di protezione. Inoltre, non conduce elettricità ed è anche un ottimo isolante acustico.

Resistenza al fuoco. Questa proprietà è influenzata dalla struttura del sughero, ovvero dalle celle piccole e chiuse, le quali rendono le tempistiche del trasferimento di calore dall'esterno verso l'interno molto lente. La radiazione è ridotta ad una quantità più piccola perché viene assorbita ripetutamente dalle pareti cellulari del materiale.

Anche ad alte temperature, la struttura cellulare del sughero non risulta alterata, e per questa ragione può essere reputato come uno strato isolante nell'eventualità di un incendio. Inoltre, grazie alla presenza di cera e suberina il sughero resiste al fuoco, ed è classificato in Classe euro E.

Inerzia. Poiché il sughero ha la capacità di rigenerarsi è considerato un tessuto morto, e quindi una sostanza inerte. Non emana gas tossici, non si scioglie e non cola.

Aderenza. Le cellule tagliate durante la lavorazione formano delle microscopiche ventose, oltre che alla presenza di sostanze resinose.

Durezza. L'attitudine del sughero a mantenere le sue proprietà iniziali fa sì che sia considerato un materiale inalterabile e indeteriorabile. Infatti, appartiene al gruppo dei materiali naturali più duri e non invecchia.

Sostenibilità. Il sughero è un materiale rigenerabile, biodegradabile e riciclabile senza inquinare l'ambiente. Inoltre, non è nocivo per la salute, non è tossico, non causa allergie e problemi alle vie respiratorie.

Il sughero presenta un'elevata resistenza meccanica e la capacità di mantenere buone caratteristiche anche ad elevate temperature che vanno da i -80°C ai 140°C [4]. Tutte queste proprietà conferiscono al materiale la funzione di sigillante e isolante. Nonostante le caratteristiche complessive siano vantaggiose, è importante dichiarare i limiti prestazionali del materiale, esso infatti presenta anche dei "difetti" che lo rendono inutilizzabile in applicazioni strutturali. Per quanto riguarda la resistenza a compressione il sughero ha una natura variabile perché, come possiamo osservare nel grafico [Figura 1.3] sforzo deformazione (Oliveira, Rosa & Pereira, 2014), ci sono due curve parallele: una indica la direzione radiale mentre l'altra indica quella non radiale. In tutti i provini testati la curva mostra una piccola deformazione del 5 %, segue un secondo tratto caratterizzato da una lieve pendenza tra circa il 5 e il 70% con un conseguente aumento della deformazione delle pareti cellulari. Successivamente, le pareti cellulari si schiacciano e si raggiunge il collasso totale delle cellule, per questa ragione la curva aumenta vertiginosamente e diventa ripida. Questo significa che nella prima parte la deformazione è reversibile, nella seconda parte

del grafico c'è un'instabilità del materiale causato dalle cellule più deboli e viene trasferita in tutto il materiale. Infine, nella terza ed ultima parte del grafico c'è il collasso delle cellule e la compattazione delle pareti cellulari.

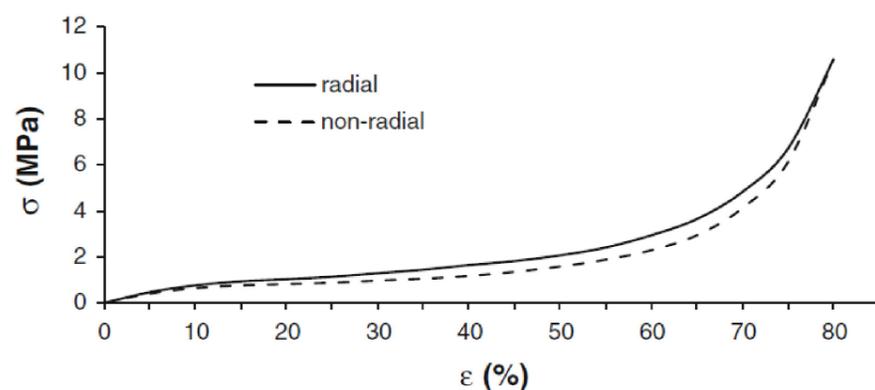


Figura 1.3 Grafico sforzo deformazione del sughero
Fonte: Oliveira, V., Rosa, M.E. & Pereira, H. *Variability of the compression properties of cork*. Wood Science and Technology, 2014, pp. 942-943.

Nel campo dell'edilizia il sughero è una soluzione vantaggiosa perché consente all'edificio di respirare naturalmente, così come la corteccia fa respirare il tronco. L'impiego di questo materiale elimina i fenomeni di condensa: nel periodo invernale trattiene il calore più a lungo rispetto ad un materiale tradizionale, mentre in quello estivo contribuisce a mantenere la temperatura interna più bassa, garantendo in entrambe le stagioni salubrità e comfort dell'edificio [5]. Nel 1950 l'ingegnere Joaquim Vieira Natividade, di origini portoghesi, in uno dei suoi studi scientifici affermò che: "nessun altro prodotto artificiale può sostituire il sughero per la sua economicità e per l'efficacia nelle sue più importanti applicazioni".

Tuttavia, nonostante gli innumerevoli pregi, il materiale presenta alcuni svantaggi a partire dal costo che risulta maggiore rispetto ad altri materiali isolanti naturali. Infine, è più pesante rispetto ad altri materiali a pari capacità di isolamento.

1.4 La diffusione della quercia da sughero

La quercia da sughero è presente nel bacino mediterraneo occidentale, più nello specifico in Spagna, Francia, Algeria, Tunisia, Marocco e Italia [Figura 1.4]. Secondo alcuni studi la superficie complessiva di sugherete in tutte queste nazioni ammonta ad un totale di 2.139.942 [Tabella 1.1]. Tuttavia, la superficie totale e reale delle sugherete non è un dato certo proprio a causa delle registrazioni che ogni singola nazione effettua con metodologie e referenze diverse. Un corretto valore di estensione territoriale è uno dei punti di partenza per una giusta pianificazione e sviluppo del materiale.

Nazione	Superficie	Percentuale
Portogallo	736.775 ha	34 %
Spagna	574.248 ha	27 %
Marocco	383.120 ha	18 %
Algeria	230.000 ha	11 %
Tunisia	85.771 ha	4 %
Francia	65.228 ha	3 %
Italia	64.800 ha	3 %

Tabella 1.1: Tabella superfici

Fonte: Portogallo: IFN, 2013; Spagna: MARM, 2007; Italia: FAO, 2005; Francia: IM Liège, 2005; Marocco: HCEF Maroc, 2011; Algeria: EFI, 2009; Tunisia: Ben Jamaa, 2011.

Il portogallo è la nazione europea che presenta la maggior estensione di sugherete, in quanto si può trovare un clima ottimale ed è una terra di foreste. "La percentuale di sughera sul territorio ammonta al 7% della superficie totale nazionale"⁽⁵⁾. In Spagna risulta frammentato a causa di fattori climatici e antropici. Così come in Francia, dove si ritrovano sugherete in poche regioni e soprattutto in Corsica. Nel continente africano le sugherete sono presenti a nord in prossimità del Mar Mediterraneo e questo fa pensare che in tempi antichi la sughera fosse più diffusa in questa zona. Inoltre, sono presenti dei casi isolati anche nella penisola balcanica e in Grecia a testimonianza del clima simile a quello del Mediterraneo occidentale. Infine, risultano alcune sperimentazioni che vedono la coltivazione della sughera in luoghi in cui non è autoctona, come ad esempio negli Stati Uniti d'America, dove sono stati riscontrati dei successi nella regione californiana.

(5) Cavagnucolo, L. *Valutazione dell'attendibilità del database worldclim e applicazione al caso della quercia da sughero (Quercus Suber L.) italiana*, 2000. Web. p.18.

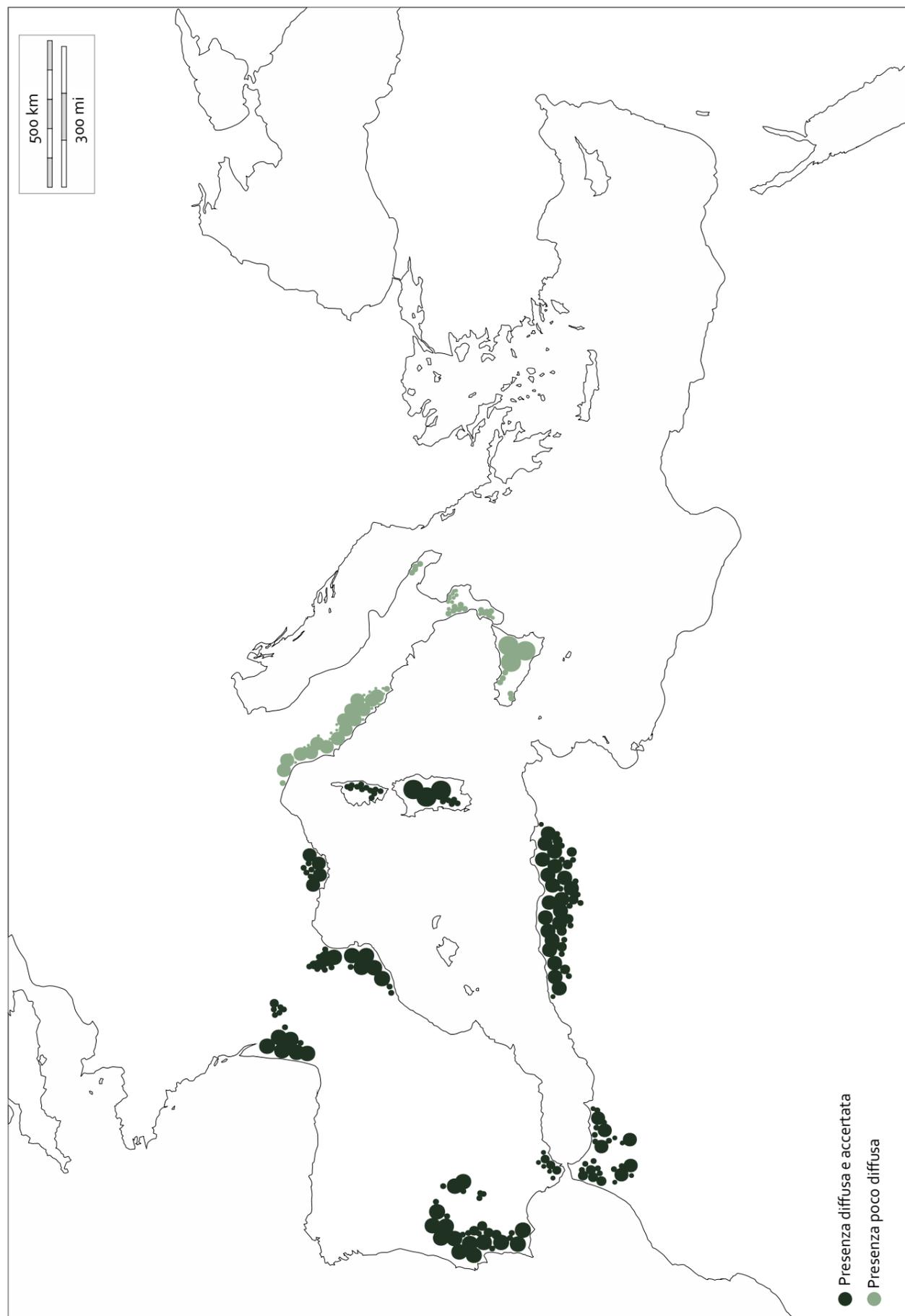


Figura 1.4 Diffusione Quercus Suber L. nel bacino mediterraneo
 Fonte: <https://www.tecnosugheri.it/approfondimento/diffusione-della-quercia-e-origine-del-sughero/>

Definita quest'area, la sughera richiede molto calore ma allo stesso tempo può sopportare il periodo estivo grazie alla presenza di umidità atmosferica. Nella seguente tabella [Tabella 1.2] sono riportate le condizioni ideali per la sopravvivenza della sughera:

Aspetto	Descrizione
Latitudine	31°N - 45°N
Longitudine	9°11' W - 15° E
Altitudine dal livello del mare	0 - 2000 m (600 m ottimale)
Precipitazioni annuali	600 - 1000 mm
Temperatura annuale	13- 16°C
Tipo di suolo	molto tollerante: siliceo e terreno sabbioso
pH suolo	terreno acido: 4.8 e 7.0

Tabella 1.2: Condizioni ideali per la sopravvivenza della sughera

Fonte: Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., Gabarrell Durany, X. *Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in Southern Europe (Catalonia - Spain)*. Journal of Cleaner Production - J CLEAN PROD, 2011, p.7.

Le sugherete del mediterraneo costituiscono uno straordinario ecosistema ricco di flora e fauna, diventando dei veri e propri contenitori di biodiversità. L'elevata biodiversità di questi luoghi è favorita soprattutto dalla presenza di vegetali e dalla longevità delle sughere stesse che possono vivere in media fino a 200 anni.

Il territorio italiano risulta essere all'ultimo posto per superficie colturale con 90.000 ha. Uno studio Istat del 1994 attesta che la superficie totale italiana è pari a 98.862 ha, ed è presente principalmente nelle due isole e lungo la costa tirrenica della Toscana e della Calabria (Di Cosmo, 2000).

Inoltre, sono stati ritrovati alcuni gruppi di querce in Liguria e Puglia anche se in nuclei e in posizioni atipiche. In generale, è presente fino ai 200-300 m di altitudine dal mare e fino ai 1000 m nelle due isole maggiori (Cavagnucolo, 2000), e si distribuisce nelle diverse regioni con i seguenti valori [Tabella 1.3]:

Regione	Superficie
Sardegna	88.672 ha
Sicilia	6.008 ha
Calabria	1.526 ha
Toscana	1.246 ha
Lazio	1.146 ha
Campania	258 ha
Liguria	3 ha

Tabella 1.3: Diffusione *Quercus suber* L. in Italia
Fonte: Istat: statistiche forestali, 1994

Tuttavia, tra il 1955 e 1965 la superficie totale delle sugherete ha avuto una contrazione a causa di una serie di incendi, fino ad una stabilizzazione nei nostri anni che riporta i valori sopra citati. Ancora altri studi (Cucchi, 1967) attestano che negli ultimi cento anni la superficie totale delle sugherete si sia ridotta, anche se non esistono corrispondenze numeriche per certificare tale affermazione.

1.5 Il ciclo produttivo del sughero

Le industrie del sughero a carattere industriale lavorano per reparti. I due reparti principali sono quello dedicato alla lavorazione del tappo e quello dedicato al settore dell'edilizia. Il grafico mostra sinteticamente le lavorazioni primarie e secondarie del sughero [Grafico 1.2].

Per una migliore comprensione il grafico analizza il processo produttivo di un'impresa a ciclo integrato, ovvero uno stabilimento che si occupa della produzione di tappi e materiali per l'edilizia. In bianco sono evidenziate tutte le fasi di lavorazione, in verde i prodotti ottenuti da ogni lavorazione ed infine con la linea rossa tratteggiata tutti gli scarti provenienti dalle diverse fasi di lavorazione sotto forma di granuli, quadrelli da macinare o polveri che vengono recuperati durante l'intero ciclo produttivo.

La descrizione del ciclo produttivo del sughero è stata redatta grazie ai testi "*Sughero*"⁽⁶⁾ di Guarnaccia del 2015 e "*Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*"⁽⁷⁾ di Tola del 2012.

L'**estrazione** del sughero avviene nel periodo estivo nei mesi fra maggio e agosto. In questo periodo l'estrazione avviene più agevolmente senza causare danni alla pianta. La legge nazionale e regionale del 9 febbraio 1994 dice che il sughero può essere "raccolto" quando la pianta ha raggiunto i 25-30 anni e possiede una circonferenza fra i 35-60 cm. Tuttavia, non esiste un'altezza massima per la decortica che negli anni è arrivata ad 1.30m circa per la prima estrazione, e inferiore a questo numero per le successive. Durante la prima raccolta il sughero estratto viene chiamato "maschio" o "sugherone vergine"[6]. Esso non è adatto per fare tappi perché legnoso, ricco di resina e poco elastico, al contrario è molto adatto per la fabbricazione di agglomerati. Le raccolte successive avvengono ogni 7/9 anni, il sughero estratto verrà chiamato "femmina" o "sughero gentile", ed è adatto al confezionamento di tappi [Figura 1.5].



Figura 1.5 Estazione della corteccia



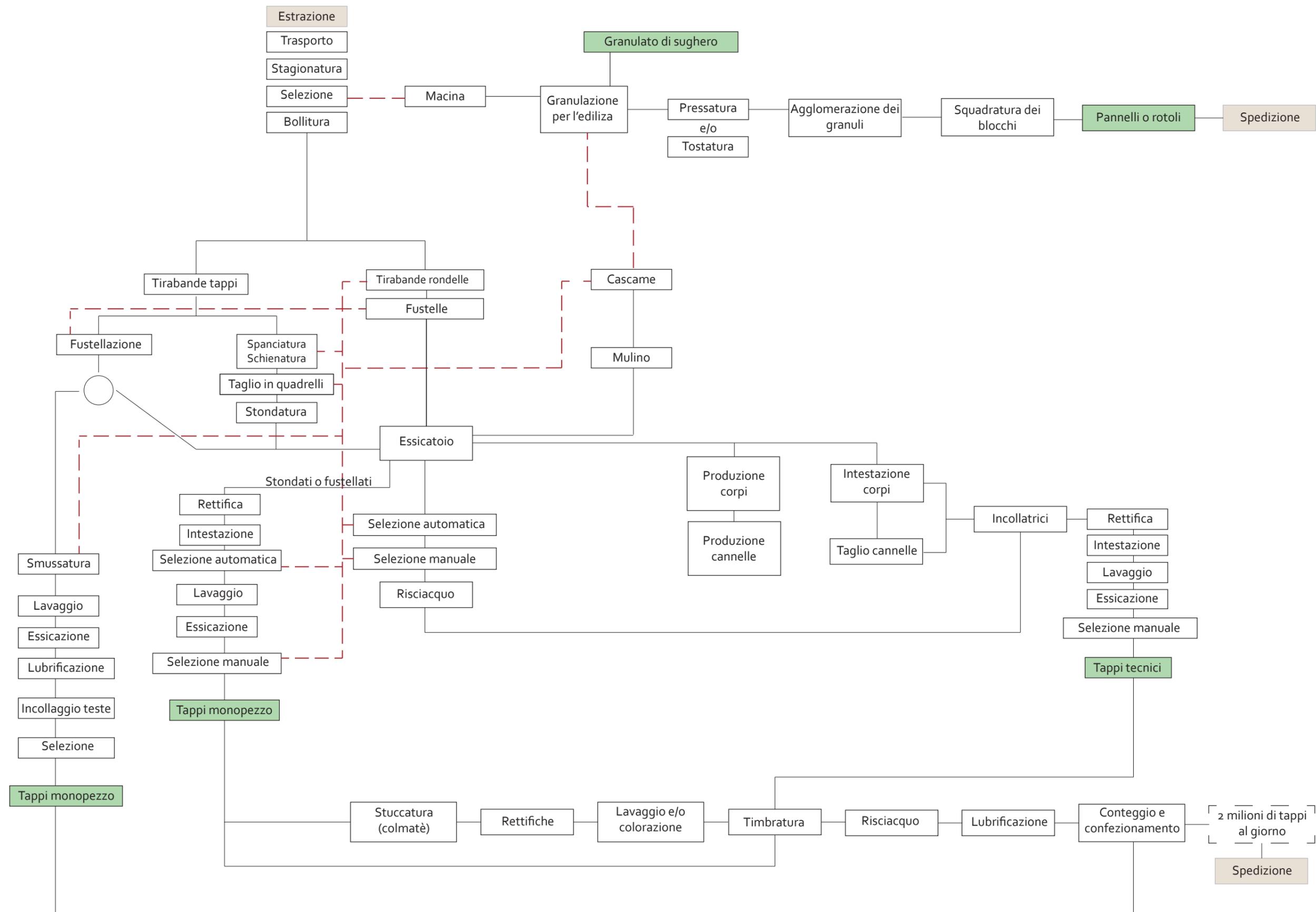
Figura 1.6 Tagli verticali nella corteccia

Fino a questo momento la tecnologia moderna, che ha meccanizzato quasi tutte le attività dell'uomo, non è riuscita ad inventare un robot-scorzatore in grado di sostituire gli antichi "scorzini" (in gallurese li bucadori). Tutt'oggi si continua ad estrarre il sughero con lo stesso sistema adottato dai primi francesi e spagnoli nel 1800: con un'accetta affilatissima si effettua un taglio in orizzontale tutto attorno alla pianta detto corona o collana e altri due in verticale detti righelli, necessari per l'apertura della corteccia [Figura 1.6].

È importante non praticare un'incisione troppo profonda in modo tale che il fellogeno non venga danneggiato. Una volta eseguiti i tagli, attraverso il distacco della corteccia, si ottengono diverse porzioni di sughero chiamate plance. Altri operai sono incaricati di raccogliere e sistemare le plance sui camion che verranno poi portate ai sugherifici.

(6) Guarnaccia, F. *Sughero*, Isia, Firenze, 2015.

(7) Tola, A. *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*, Franco Angeli, 2012.



Scarti in granuli,
quadrelli da macinare o polveri

Grafico 1.2: Flow Chart del ciclo produttivo integrato del sughero
Fonte: Tola, A. *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*, Franco Angeli, 2012, p.83.
Rielaborazione dell'autore

La fase del **trasporto** è fondamentale e determina il valore economico del sughero, perché risulta essere molto dispendioso per il fatto che le sugherete sono difficilmente raggiungibili dalle strade primarie. Nei sugherifici le plance vengono **selezionate** [Figura 1.7], posizionate parallele al terreno (stivaggio) in cortili appositi e lasciate a **stagionare** per un periodo che va dai sei mesi ai due anni, nel quale perdono l'umidità (10÷30%). Terminata questa fase le plance vengono **bollite** [Figura 1.8] ad una temperatura inferiore a 100°C in vasche o caldaie rivestite in rame o in acciaio inox [7] con circa 6 metri cubi di acqua, eliminando parassiti e altre sostanze presenti nella corteccia. In questa fase è importante orientare le plance lungo una direttrice e con la crosta, ovvero la parte più scusa della corteccia, rivolta verso l'alto. Le plance vengono bollite per circa 60 minuti, vengono poi posizionate in pedane e sopra di esse viene sistemata una pressa che permette di uniformare la curvatura naturale del sughero schiacciandolo. Dopo 8-10 giorni il sughero può essere prelevato per la lavorazione. In questa fase è determinante il ricambio dell'acqua perché, a seguito di un numero di immersioni, essa può impregnarsi e non sarebbe più in grado di eliminare le sostanze già citate, con conseguenti danni alla qualità del sughero.



Figura 1.7 Stivaggio e stagionatura delle plance
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas



Figura 1.8 Bollitura delle plance
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas

Da qui in poi il processo di produzione si sviluppa principalmente in quella che è la lavorazione del tappo. Dopo queste operazioni, mentre gli scarti di sughero vergine vengono destinati alla produzione di agglomerati, la restante parte viene riclassificata e avviata in ulteriori processi di rifilatura tramite la tiratura in bande, quadrettatura e/o fustellazione da cui nasce il granulato grezzo che poi verrà rifinito. Si formano delle fasce dalla quali si "tagliano" i tappi. Solo il 70% del materiale che arriva alla fase del tappo verrà trasformato. I residui delle fasce vengono rimacinati e mescolati con un collante formando tappi più lunghi poi tagliati e destinati alle bottiglie per lo champagne (indicati con "0+2"). Il processo continua con la lavorazione del tappo che produce materiale di scarto destinato all'agglomerazione per l'edilizia e/o biomassa per il funzionamento dell'impianto stesso.

La produzione principale si dirama in due tipi di prodotti apparentemente uguali ma diversi: il tappo monopezzo indicato con "1+1" (30% della produzione totale) ricavato dalle fasce precedentemente tagliate e il tappo tecnico (70% della produzione totale) [8] che può essere agglomerato con collanti particolari, misto (rondelle di sughero e sughero granulare) o a settori di sughero naturale. Il tappo tecnico è formato da due parti ben distinte: il corpo costituito da agglomerato di sughero che viene introdotto nel collo della bottiglia e la testa composta da rondelle di sughero incollate fra di loro. Le fasi di rettifica e intestazione definiscono l'altezza e il diametro di ogni pezzo prodotto. Tutti i pezzi passano alla fase del lavaggio che determina l'inizio della fase conclusiva del processo produttivo. Seguono una serie di selezioni manuali [Figura 1.9] e meccaniche [Figura 1.10]. Quest'ultima, grazie ad un macchinario a lettura ottica, seleziona i tappi per diverse porosità e qualità che vanno da uno a cinque, per eventuali difetti non visibili all'occhio umano ed infine per la presenza di bolle d'aria. Le cinque qualità verranno differenziate e vendute con prezzi diversi. A questo punto tappi devono passare per i laboratori nei quali si controlla che non ci sia muffa, evitando che il vino "sappia di tappo".



Figura 1.9 Selezione manuale
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas



Figura 1.10 Selezione meccanica
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas

Esiste un'altra linea di produzione rivolta al mercato francese detta colmatati o colmatè. Questi tappi, originariamente naturali ma con la presenza di difetti, vengono rifiniti con una pasta da polvere di sughero che colmano i vuoti, migliorandone la superficie esterna. Ulteriori passaggi sono quelli della lubrificazione, che permette l'ingresso e l'uscita dal collo della bottiglia, e la marchiatura. Infine, vengono confezionati in buste di plastica ricche di anidride solforosa [8], al fine di evitare la proliferazione batterica.

Per quanto riguarda il reparto dedicato all'edilizia il sughero vergine, precedentemente selezionato, viene macinato ed unito agli scarti provenienti dalla produzione dei tappi. I granuli derivano dall'azione di veri tipi di mulini che lavorano in base al tipo di granulo desiderato. Durante tutto il processo di essiccazione, effettuato con aria calda circolante, si conferisce ai granuli il grado di umidità desiderato. Inoltre, in base al prodotto finito, seguono le operazioni di dosaggio attraverso un processo meccanico.

Dai granuli scartati e secondo tipi di lavorazioni diverse si possono ottenere due tipi di agglomerati diversi: pannelli di sughero biondo compresso (o pressato) o pannelli di sughero bruno espanso autocollato.

- **Sughero biondo:** per questo agglomerato viene utilizzata la procedura della pressatura per pochi minuti a 220°C [Figura 1.11] con l'eventuale aggiunta del 2% [7] di collanti sintetici.
- **Sughero bruno:** è generalmente unito alla falca e si produce con l'operazione della tostatura che permette la fusione della suberina e della lignina presenti nel sughero. I granuli vengono setacciati ed essiccati affinché essi raggiungano il livello di umidità desiderato.



Figura 1.11 Macchina pressatrice
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas



Figura 1.12 Pannelli pronti per la spedizione
Fonte: Sopralluogo Azienda Molinas

Questi vengono agglomerati attraverso il processo di ebollizione che avviene grazie al vapore ad una temperatura di circa 300-370°C. La suberina e la lignina presenti nel sughero e nella falca fungono da collanti naturali, uniscono i granuli e fanno in modo che il pannello sia compatto ed impermeabile. Infine, il vapore che attraversa i granuli ne aumenta il volume migliorando le caratteristiche del sughero e di conseguenza il suo potere isolante. Essendo il materiale all'interno di un'autoclave, risulta confinato e quindi compone dei blocchi dallo spessore variabile [9].

Definiti gli spessori e le dimensioni, i pannelli o i rotoli sono pronti per il confezionamento e la spedizione [Figura 1.12].

Il seguente grafico [Grafico 1.3] riassume brevemente le lavorazioni principali del sughero e dei suoi scarti, evidenziati in percentuali, i quali vengono riutilizzati all'interno di un ciclo produttivo di un sugherificio che si occupa della sola lavorazione dei tappi naturali. Ogni fase del grafico, espressa in percentuali, corrisponde al 100% rispetto alla fase precedente. Dal grafico emerge che, le imprese che non si occupano della produzione integrata del sughero riescono comunque a gestire la produzione di scarti attraverso la vendita ad aziende terze.

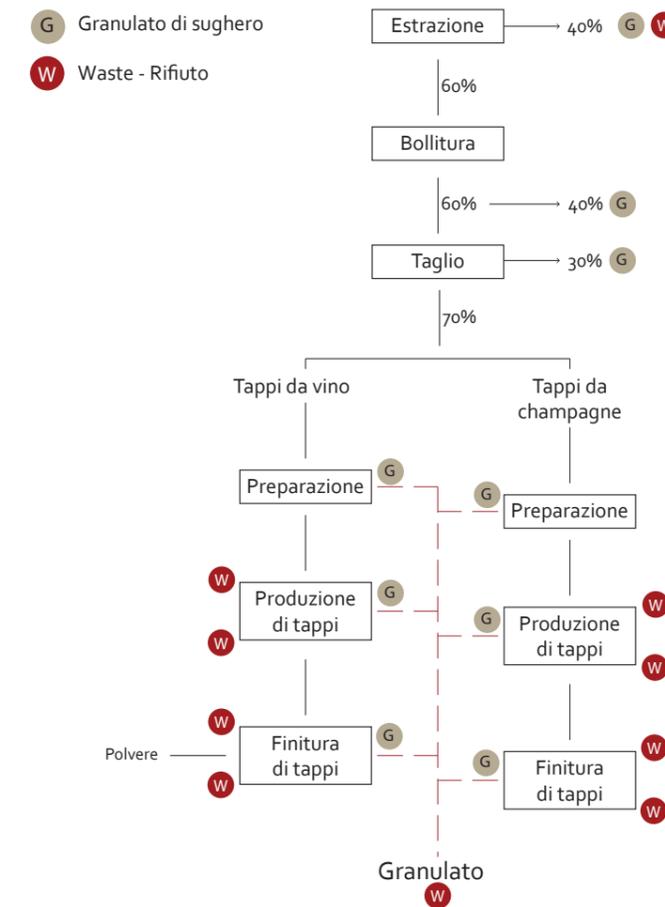


Grafico 1.3: Scarti e percentuali delle principali produzioni del sughero
 Fonte: Sierra-Pérez, J., García-Pérez, S., Blanc, S., Boschmonart-Rives, J., Gabarrell, X. *The use of forest-based materials for the efficient energy of cities: Environmental and economic implications of cork as insulation material*, Sustainable Cities and Society, Volume 37, 2018, pp. 628-636.
 Rielaborazione dell'autore.

L'attuale produzione di sughero determina considerevoli impatti ambientali, i quali possono essere sempre più arginati grazie ad una nuova ed avanzata progettazione del processo di lavorazione. Inoltre, non tutte le imprese sono capaci di lavorare il cascame (scarti), perché è necessario possedere determinati impianti che trasformino lo scarto in risorsa per lo stabilimento. Possiamo osservare, infine, che la filiera del sughero è indipendente, niente è sprecato e tutti gli eventuali scarti sono valorizzati. Per questa ragione il sughero è considerato un materiale emblematico per l'economia circolare, perché il suo ciclo di vita è completo e chiuso. "L'industria del sughero, per sua natura, è una delle poche attività che, se ben gestite, ha un impatto ambientale assai prossimo allo zero: attinge la sua materia prima senza provocare alcun danno alle foreste e la sfrutta ad un punto tale da non avere alcun residuo inquinante che possa creare problemi di smaltimento."⁽⁸⁾

1.6 La produzione a livello internazionale

La produzione mondiale del sughero conta 300.000 tonnellate annue, di cui solo il Portogallo produce il 49,60% con più di 100.000 tonnellate, rendendo questo paese leader nella produzione del sughero. L'Italia si classifica al terzo posto con il 4,90% rispetto alla produzione totale [Grafico 1.4].

Produzione mondiale di sughero		
	Tonnellate	Percentuali
Portogallo	100.000	49,60 %
Spagna	61.504	30,50 %
Marocco	11.686	5,80 %
Algeria	9.915	4,90 %
Italia	9.915	4,90 %
Tunisia	6.962	3,50 %
Francia	5.200	2,60 %

Grafico 1.4: Produzione annuale mondiale di sughero
Fonte: FAO 2010.

Il principale prodotto realizzato da questa filiera è il tappo per le bottiglie di vino, il quale assorbe il 69% della produzione e si divide a sua volta in 43% per tappi naturali e 23% per la produzione di altri tappi in sughero. Le aziende portoghesi sono la maggior fonte occupazionale del settore e contano circa 12 mila lavoratori⁽⁹⁾. Inoltre, il Portogallo risulta il maggior esportatore di tappi in sughero (552 milioni di euro) e di materiali per la bioedilizia (165 milioni di euro), seguono Francia (18,8%), USA (16%) e Spagna (11,6%) [10]. Il sughero grezzo estratto ogni anno supera i 3 milioni di quintali, di cui l'85% è dovuto ai soli paesi europei, mentre la parte restante è detenuta dai paesi del nord Africa, che estraggono però solo il 14% della materia prima a fronte di una superficie forestale del 33%. Questo è dovuto fondamentalmente a due motivi: l'inesperienza delle maestranze locali e la totale assenza di sviluppo e innovazione nella filiera. Infatti, molte aziende europee si sono proposte per l'apertura di nuovi stabilimenti in Tunisia, Marocco e Algeria, dove venivano svolte le prime lavorazioni sul materiale grezzo, ultimate in seguito in Portogallo, Spagna o Sardegna.

In Italia l'industria del sughero si concentra in Sardegna dove sono ubicate la maggior parte delle industrie e aziende per la trasformazione del prodotto. Nel distretto di Calangianus viene trasformato il 79% di tutto il sughero lavorato in Italia [11]. Anche la produzione italiana è destinata ai tappi e rappresenta il 60/70% della produzione dell'intero comparto. Il resto della produzione è suddiviso nel settore della bioedilizia (16%), nel settore calzaturiero (9%) ed infine nel settore dell'artigianato (3%) [12].

Più in generale, la sughericoltura in Italia non tiene conto solo dell'aspetto produttivo ma anche di quello culturale. Infatti, presenta una filiera molto diversificata e poco strutturata, a partire dall'estensione della superficie delle sugherete, fino ad arrivare agli stabilimenti nei quali il prodotto viene lavorato e successivamente distribuito. Tutti questi fattori hanno contribuito a rafforzare da un lato le culture e i paesaggi che caratterizzano questo settore, dall'altro a limitare lo sviluppo che invece, a livello europeo, presenta situazioni più organizzate. A livello nazionale, gli ultimi dati (Cutini, Muscas, Carta, Casula, Dettoni, Filigheddu, Maltoni, Pignatti, Romano, 2019) ammettono un recesso della filiera, con una conseguente diminuzione di aziende e operatori e con l'aumento dell'esportazione del solo materiale grezzo.

(8) Tola, A. *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*, Franco Angeli, 2012, p.18.

(9) Bollettino mensile delle attività economiche, gennaio 2007.

Si dimostra dunque un cambio di tendenza per l'Italia: da importatore e trasformatore ad esportatore di materia prima, soprattutto in Portogallo e Spagna dove sono presenti le più grandi imprese a livello globale.

È importante stilare una classificazione del sughero quando ancora si trova allo stato grezzo, a partire dalla qualità del materiale, in modo tale da stabilirne il valore per una corretta commercializzazione. Come sappiamo, una prima valutazione avviene al momento della prima estrazione quando si estrae il sugherone mentre, con le successive estrazioni, si ottiene il sughero gentile, il quale risulta essere più pregiato e quindi ha un valore economico maggiore. Un secondo parere deve essere dato da esperti che ne analizzano l'aspetto e lo catalogano in base alle qualità in (Guarnaccia, 2015):

- eccessiva porosità: sono presenti numerosi e grandi canali lenticolari che sono sede di polveri rossastre;
- sughero verdonato: di colore verde perché è presente un'eccessiva umidità;
- sughero screziato o ali di mosca: sul sughero sono presenti delle macchie puntiformi di colore castano scuro;
- sughero terroso: presenza di grandi quantità di polvere rossa nelle cavità;
- sughero cipollato: la causa sono fattori ambientali non favorevoli che danneggiano il sughero e lo dividono in strati.

In generale, il sughero ha un prezzo più alto rispetto agli altri isolanti naturali, come ad esempio la fibra di legno, che comunque sarà ammortizzato nel tempo se utilizzato sotto forma di pannelli. Il prezzo complessivo va dai 15 ai 60 € + IVA al mq per pannelli di 2/10 cm circa. Il prezzo aumenta se utilizzato in altre applicazioni come rivestimento o pavimento.



Fonte: Guarnaccia F. *Sughero*, Isia, Firenze, 2015, p.4.

2. La filiera del sughero in Sardegna

2.1 Analisi territoriale

La sughera in Sardegna si estende sulla maggior parte della superficie regionale, ed in particolare nelle zone in cui il clima è più temperato e con una piovosità regolare. La quercia da sughero ha una forte valenza simbolica e caratterizza il territorio sardo. Secondo la carta delle serie di vegetazione aggiornata al 2009 la quercia è sia un elemento dominante che forma bosco, sia un elemento che si relaziona ad altre specie arboree come il leccio, la roverella e altre specie legnose. Data la superficie di 88.672 ha [Tabella 1.3], le sugherete rappresentano una significativa componente territoriale che si distribuisce fra i 500 e i 950 m di altitudine nel Goceano, in Gallura, nell'alto piano di Buddusò, Abbasanta, Sorgono, Bitti, Orune e nell'Iglesiente [6] [Figura 2.1].

Queste aree, secondo il documento della Carta di Uso del Suono della Sardegna del 2003, sono divise in tre macroaree che individuano tre tipologie di sugherete sul territorio (Dettori, Filigheddu, Muroi, Puxeddu, Deplano, 2008):

1. Sugherete: «Sugherete pure con copertura >25%, generalmente pulite o comunque con sottobosco non troppo abbondante, il cui sviluppo è limitato spesso dal pascolamento»;
2. Colture temporanee associate ad altre colture permanenti: «Sugherete con copertura tra il 5-25% associate a colture temporanee, pascoli o prati più o meno invasi da specie arbustive»;
3. Bosco di latifoglie «Sugherete con copertura >20% miste ad altre specie arboree (leccio, roverella, ecc.), con abbondante sottobosco arbustivo e ubicate spesso in zone impervie». ⁽¹⁰⁾ [Figura 2.2]

Un'indagine Istat del 2004 censisce i boschi della regione, gestiti per l'65% da privati, per il 13% da comuni e altri enti e infine per il 3% da Stato e Regione (Dettori, Filigheddu, 2013). Questa frammentazione del territorio rende problematica la possibilità di un'amministrazione e manutenzione comune, ed è dovuta principalmente alla mancanza di specifiche leggi regionali per la gestione dei boschi. Un secondo problema, che ha condizionato in modo significativo lo sviluppo delle sugherete, è quello degli incendi boschivi, che a lungo andare non danno mezzi e risorse per rivivificare il bosco. Le zone più colpite sono quelle di Sassari (410 ha/anno) e di Nuoro (293 ha/anno) mentre, il polo gallurese rivela il dato più positivo con significativi imboschimenti e ricostruzioni a seguito di incendi, mantenendo stabile la superficie boschiva totale. Il sughero infiammato, nonostante sia ignifugo, deve essere rimosso affinché la corteccia possa ricrescere. Il materiale rimosso dalla pianta può essere utiliz-

(10) Dettori, S., Filigheddu, M., Muroi, A., Puxeddu, M., Deplano, G., *Quantità e qualità delle produzioni sughericole regionali*, 2008, p.19.

zato solo se macinato ed impiegato nel settore dell'edilizia, risulta perciò svalutato e di bassa qualità, e l'operazione dell'estrazione non viene ripagata dalla vendita. E ancora complicazioni legate al sovra pascolamento, alle attività di aratura e alle infestazioni di insetti defogliatori e altri agenti. Le superfici forestali in Sardegna sono quindi legate ad una serie di fattori sia positivi che negativi e sono strettamente connessi all'antropizzazione del territorio. Una revisione non solo regionale ma anche nazionale significherebbe istituire un piano per le sugherete per combattere la desertificazione e allo stesso tempo salvaguardare l'ambiente, in quanto inestimabile risorsa ambientale ed economica.

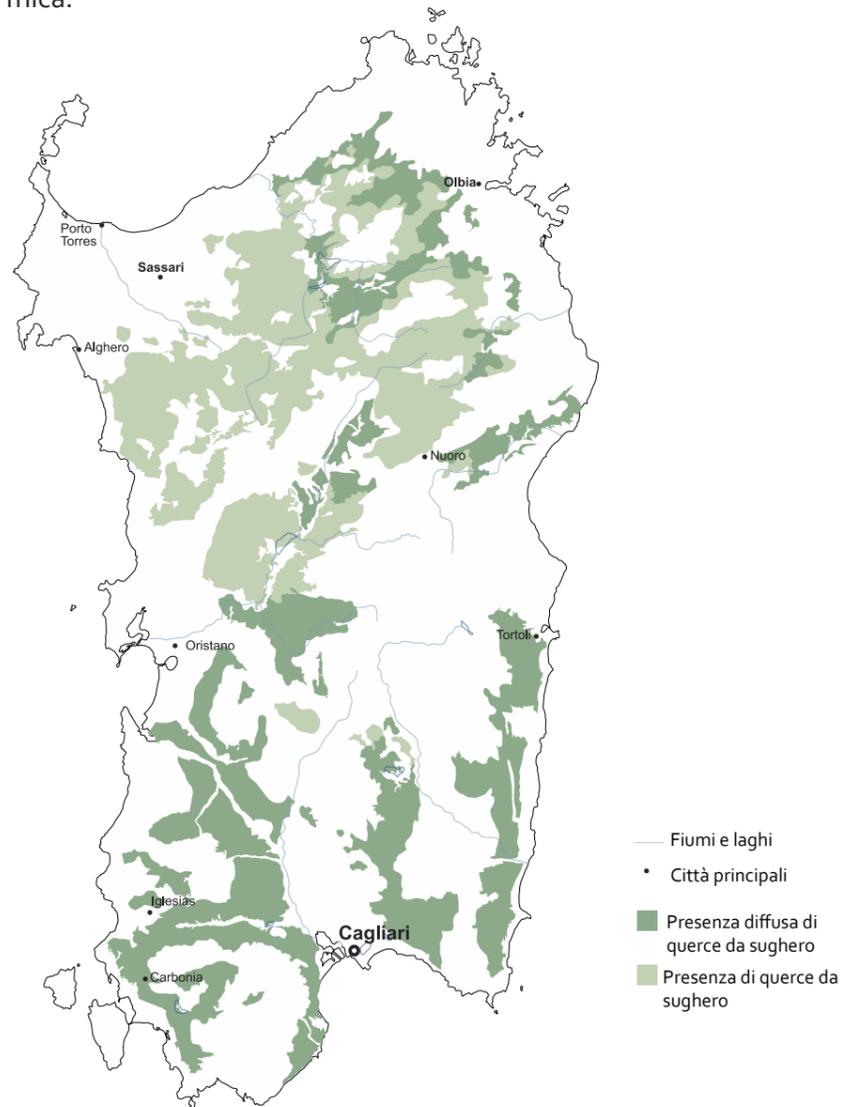


Figura 2.1: Estensione della sughera in Sardegna
Fonte: Carte delle serie di vegetazione Sardegna 2009.
Rielaborazione dell'autore.

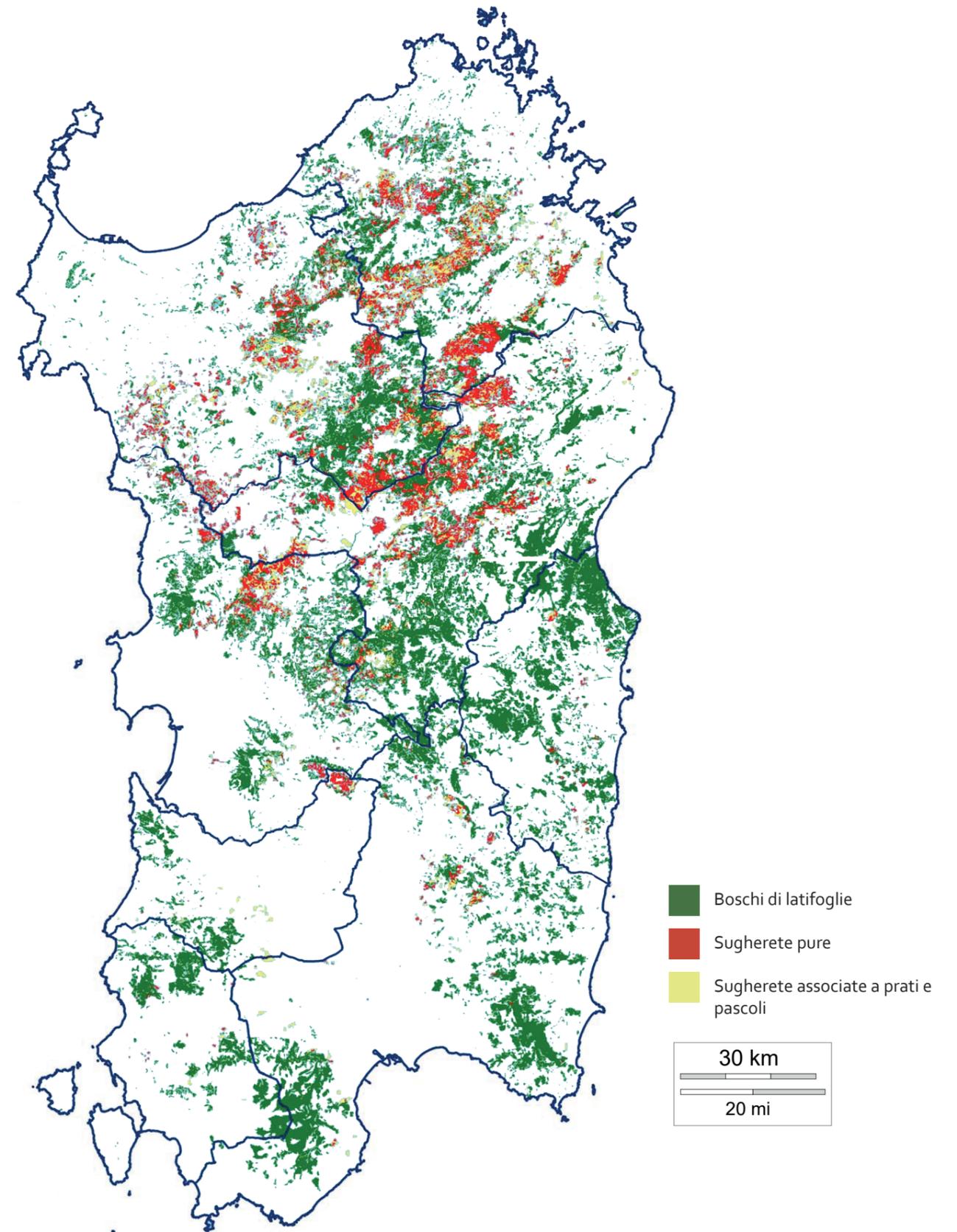


Figura 2.2: Estensione della sughera in Sardegna
Fonte: Elaborazione Desa, Facoltà di Agraria, Università di Sassari. in Dettori, S., Fili-gheddu, M., Muroli, A., Puxeddu, M., Deplano, G., *Quantità e qualità delle produzioni sughericole regionali*, 2008, pp.20-22.
Rielaborazione dell'autore.

2.2 Indicazioni normative

Per quanto concerne la normativa regionale e nazionale, è stata proprio la Sardegna ad indicare una normativa molto più articolata rispetto alle altre regioni con una presenza inferiore di querce da sughero. Già nel 1950 la Sardegna emana la L.R. n.66 con la quale intende agevolare le piccole industrie con un intervento di carattere finanziario. Nel 1952 nasce la Stazione Sperimentale del sughero a Tempio Pausania, detta oggi AGRIS Sardegna e operativa nel successivo 1960, nella quale si studiano le problematiche biologiche legate al sughero. Secondo l'art.2 "La Stazione sperimentale del sughero ha il compito di effettuare ricerche ed esperienze al fine di incrementare e migliorare la coltivazione e la produzione della sughera e l'utilizzazione dei suoi prodotti. Essa si compone di una Sezione biologica e di una Sezione tecnologica."⁽¹¹⁾

Dal 1989 al 1994 la normativa propone una serie di spunti per la pianificazione, finanziamento e sistemazione del comparto, cercando di assicurare il costante flusso di materia prima da lavorare e trasformare, regolamentando l'uso delle sugherete, ed infine mappando e suddividendo il territorio in aree di copertura secondo il popolamento vegetativo circostante. Nonostante il tentativo di regolarizzazione, la separazione fra sugherete e altre specie vegetative risulta irrisolta: da questa divisione derivano difficoltà di comunicazione tra le autorità forestali responsabili e i proprietari, i quali abbandonano i terreni con presenza di querce da sughero oppure li mutano in sistemi agro-forestali più semplici dal punto di vista gestionale.

Nel 1997, con il riconoscimento da parte della Regione Autonoma della Sardegna, nasce e si sviluppa il Distretto Industriale del Sughero situato a nord della regione nella provincia di Olbia-Tempio (attuale zona orientale della provincia di Sassari). Il distretto conta sette comuni dell'Alta Gallura, per un totale di oltre 100 aziende, del quale solo il 20% presenta carattere e dimensione industriale. All'interno del Distretto è possibile osservare una significativa correlazione fra piccole e grandi aziende, le quali collaborano per ottimizzare i processi produttivi e i residui che ne derivano, utili per la produzione di energia e per il fabbisogno energetico dello stabilimento.

Con la nuova legge L.R. n.8/2016 l'obiettivo è di riscoprire il valore strategico della filiera sarda, non solo in ambito territoriale italiano ma anche in quello Europeo, tramite l'aumento produttivo e qualitativo delle sugherete, certificazione forestale e il nuovo progetto di un registro regionale.

(11) Regione Autonoma della Sardegna, *Istituzione della stazione sperimentale del sughero*, Legge regionale 06 febbraio 1952, n. 5

È comunque importante considerare che non si potranno avere dei buoni risultati, non prima dei 15 anni per i boschi con frequenti potature e dei 30 anni per avere a disposizione alti fusti. Nonostante i buoni propositi, la cooperazione fra politiche di tutela e valorizzazione appare ancora poco delineata (Cutini, Muscas, Carta, Casula, Dettori, Filigheddu, Maltoni, Pignatti, Romano, 2019).

2.3 Produzione a livello regionale

Secondo i dati citati dal PFAR⁽¹²⁾ riguardanti la filiera del sughero in Sardegna, emerge che le sugherete presenti sul territorio "soddisfano per il 50% il fabbisogno delle imprese locali"⁽¹³⁾, rendendo così necessaria l'importazione da altre nazioni. A seguito della crisi che ha colpito questa produzione negli anni novanta, la maggior parte delle aziende medio-piccole hanno dovuto chiudere, lasciando posto al polo di trasformazione e produzione gallurese e ad altre imprese nelle province di Nuoro e Oristano [Figura 2.3], le quali potrebbero trasformare una quantità pari a 200.00 q/anno, ma hanno una produzione media annua inferiore ai 120.000 q/anno. Il 30% della produzione viene esportato nei Paesi dell'Unione Europea soprattutto in Francia, negli USA che presenta un'elevata richiesta di turaccioli e in Australia. Un altro dato importante è strettamente correlato all'estensione delle sugherete (Dettori, Filigheddu, Muroni, Puxeddu, Deplano, 2008) nella regione che mostrano una mutevolezza territoriale: nelle sugherete specializzate si contano quantità considerevoli di sughero gentile e sughero vergine. Più nello specifico le aree che contano maggior produttività sono quelle della Gallura con 1.265 t e il Nuorese con 791 t, dati che avvalorano un alto livello di specializzazione in terreni ormai "invecchiati", nei quali è assente sughero da prima decortica. Al contrario, le sugherete dell'Ogliastra e dell'Oristanese sono poco specializzate e giovani. Ma uno dei dati più significativi è dato dalla reale produttività delle sugherete (Dettori, Filigheddu, Muroni, Puxeddu, Deplano, 2008) che, in teoria dovrebbe essere quantificata dall'altezza massima di decortica stabilita dalla L.R. 4/94 e che, nella realtà non è mai rispettata e risulta inferiore a quest'ultima. Se si segue la L.R. 4/94 la quantità estratta, ovvero quella potenziale, va da 0,37 a 4,1 t·ha⁻¹ (Dettori, Filigheddu, Muroni, Puxeddu, Deplano, 2008). Nonostante ciò, le sugherete specializzate restano al primo posto per quantità prodotte e contribuiscono per almeno il 30% al reddito del proprietario o di chi le gestisce.

(12) Piano Forestale Ambiente Regionale

(13) Dettori, S., Filigheddu, M., Muroni, A., Puxeddu, M., Deplano, G., *Quantità e qualità delle produzioni sughericole regionali*, 2008, p.16.

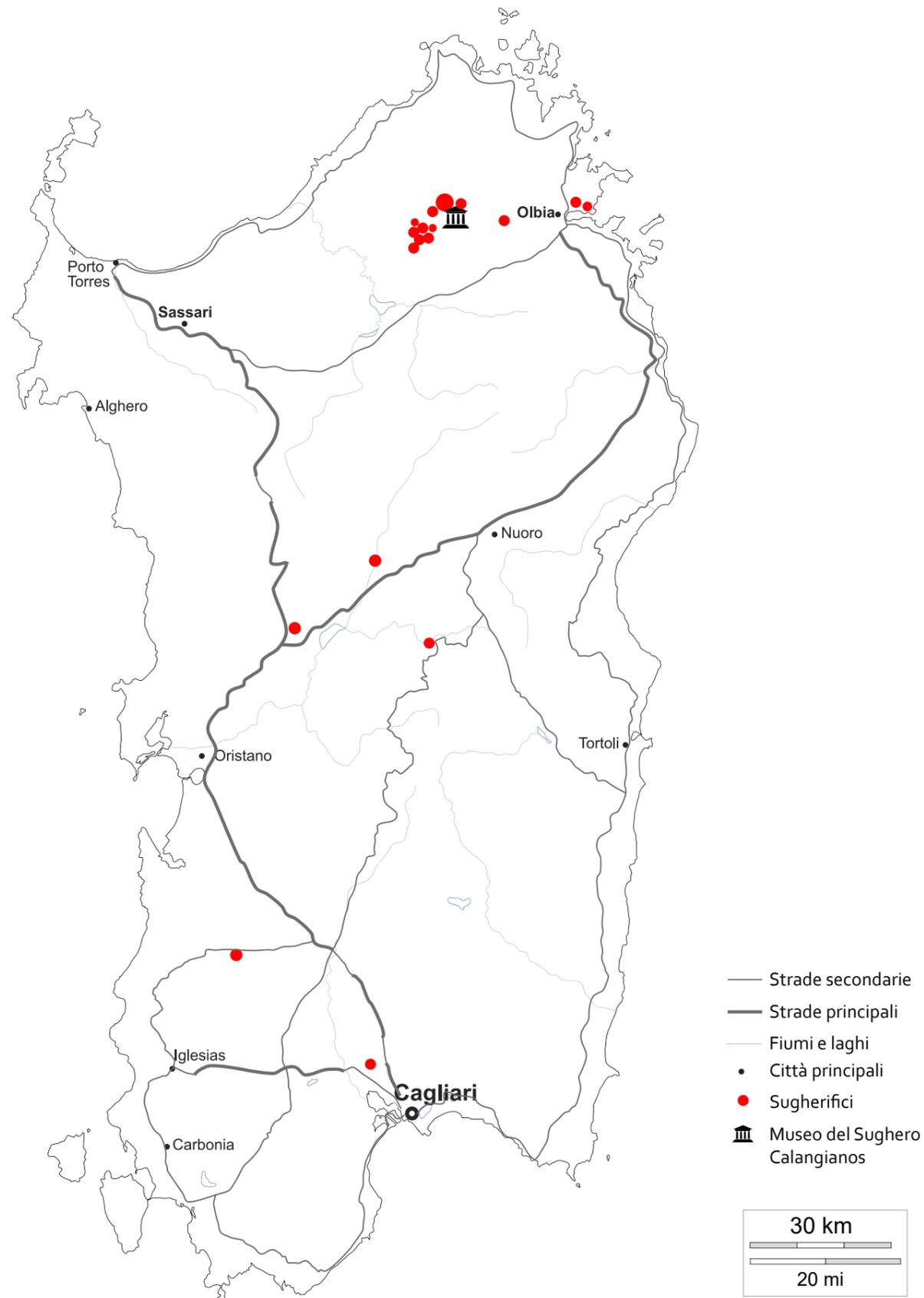


Figura 2.3: Sugherifici in Sardegna
 Fonte: Rielaborazione dell'autore.

Quindi, la produzione complessiva potrebbe essere molto elevata, "ma più spesso si ferma a poco più di una tonnellata per ettaro"⁽¹⁴⁾. Da questi dati e altri dati precedenti è chiaro che uno dei principali limiti della filiera sarda è la mancanza di materia prima.

Per quanto riguarda l'occupazione regionale è importante citare lo studio di Alessio Tola del 2012 che analizza in particolare il Distretto della Gallura che conta circa 100 imprese, di cui una ventina sono a carattere industriale. Le altre imprese, rivolte verso una produzione di nicchia, sono invece a carattere artigianale e contano un numero inferiore di dipendenti. Nel 2017 si contano circa "40 imprese (19 industriali, 21 artigiane e solo 3 con più di 50 dipendenti)"⁽¹⁵⁾.

Le imprese che operano sul territorio sardo rispettano le seguenti tipologie⁽¹⁶⁾:

- sugherifici produttori di tappi naturali semilavorati;
- sugherifici industriali con ciclo produttivo integrato;
- sugherifici industriali produttori di taruccoli incollati;
- sugherifici con ciclo produttivo che comprende le fasi finali di lavorazione;
- sugherifici industriali a valle del ciclo produttivo distrettuale;
- grossisti che si occupano delle fasi finali di lavorazione.

Il fattore che determina questa classificazione è il prodotto finale che si vuole ottenere dalla lavorazione secondaria. "Le ragioni dell'efficienza del Distretto Industriale Gallurese sono soprattutto dovute alla realizzazione di una rete di relazioni economiche (tra imprese) e sociali (con l'ambiente locale) [...] Il Distretto Industriale non è, infatti, soltanto una modalità di organizzazione della produzione, ma anche una costruzione sociale, con tipiche forme di regolamentazione e con specifici processi d'innovazione indotta."⁽¹⁷⁾

Secondo quanto riportato dallo studio sopra citato, il sistema sughero in Sardegna (a partire dalla prima estrazione fino alla produzione del tappo) risulta avere una certa conformità produttiva e organizzativa. Altre fonti dichiarano invece dati preoccupanti riguardo all'occupazione aziendale fissa, mentre la filiera sarda mostra dei buoni valori sotto l'aspetto dell'occupazione stagionale che conta circa 1000 lavoratori impegnati nell'operazione della decortica e il successivo trasporto del materiale grezzo. Come sappiamo il principale prodotto di questa filiera è il tappo mentre, dalle plance di sughero meno pregiato nascono solette per l'industria calzaturiera e granulati per l'industria meccanica e l'edilizia.

(14) Dettori, S., Filigheddu, M., Muroli, A., Puxeddu, M., Deplano, G. *Quantità e qualità delle produzioni sughericole regionali*, 2008, p.26.

(15) Madeddu, D. *Il sughero sardo non riprende la sua corsa. Nuovi licenziamenti in Gallura*, Sole24 Economia, 27 aprile 2017.

(16) Tola, A. *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*, Franco Angeli, 2012, p.61.

(17) cit. p.18.

I prodotti regionali contano significativi esempi nell'ambito della moda e dell'arredamento. Il sughero sardo è conosciuto come un prodotto di qualità con caratteristiche apprezzate in tutto il mondo. Nella regione il sughero ha un ruolo chiave per un'economia sempre più circolare, nella quale interagiscono conservazione e tutela, sostenibilità e innovazione.

2.4 Indagine sul campo

Questo capitolo ha l'obiettivo di ricavare informazioni relative alla filiera sarda al fine di confermare ed aggiornare la ricerca. Si è dunque deciso di sottoporre questionari di carattere investigativo ai due principali soggetti che collaborano in questa filiera: gli estrattori e le aziende. Questo tipo di metodologia mi ha permesso di avere una visione più ampia rispetto alla bibliografia già trovata. Inoltre, mi ha permesso di comprendere quali sono i fattori che influenzano il piano economico e produttivo dell'intero comparto, quali sono gli impatti che ha sul territorio sardo ed infine le visioni personali degli estrattori e delle aziende che hanno partecipato all'indagine.

2.4.1 Interviste agli estrattori

Come già illustrato nel capitolo precedente, gli estrattori o "scorzini" sono i primi attori del ciclo produttivo del sughero. Il questionario relativo a questa categoria è suddiviso in tre parti. Dopo una prima parte conoscitiva, si è cercato di approfondire l'approccio degli estrattori verso i terreni, l'eventuale presenza di scarti e la loro conseguente gestione, la destinazione del materiale grezzo, e i rapporti con le aziende. Nell'ultima parte un appunto pertinente agli scarti derivati dalla fase di potatura delle querce, detta falca. "Per falca si intende la corteccia ricavata dai rami minori della pianta, ottenuta in fase di potatura. Questa materia presenta una maggior concentrazione di suberina e lignina, elementi importanti per permettere un efficace processo di tostatura. La raccolta della falca segue la decortica."⁽¹⁸⁾ Per una trascrizione fedele delle risposte, le interviste sono state registrate informando e chiedendo dapprima il consenso degli intervistati.

(18) Approfondimento tecnico, Diffusione della quercia e origine del sughero, Tecnosugheri, 2015. In [13] Riferimento sitografico.

INTERVISTA ESTRATTORI

Dati socio-anagrafici

Età:

Genere:

Istruzione:

Residenza:

Estrazione del sughero

1. I terreni in cui avviene l'estrazione sono privati? Se sì, è il proprietario stesso a contattare le maestranze?
2. Indicativamente di quante piante da sughero è composto il terreno in questione?
3. Quanti operai sono necessari e quali sono le lavorazioni necessarie?
4. Durante il processo di estrazione vengono prodotti degli scarti? Se sì, quale è la loro destinazione?
5. Il sughero estratto, a seguito della stagionatura, viene venduto alle aziende della Sardegna o ad aziende internazionali?
6. Nell'anno 2019 quanto è stato valutato in euro il sughero?

Potatura delle querce

7. Oltre all'estrazione si occupa anche della potatura degli alberi?
8. Se sì, il materiale prodotto durante questa fase viene venduto? Per quale utilizzo?
9. Potrebbe quantificare il materiale prodotto dalla potatura in tonnellate?
10. Quanto viene valutato in euro questo prodotto?

INTERVISTA ESTRATTORE: (1)**Dati socio-anagrafici**

Età: 45 anni
 Genere: Maschio
 Istruzione: Terza media
 Residenza: Villanova Monteleone (SS)

Estrazione del sughero

1. I terreni in cui avviene l'estrazione sono privati? Se sì, è il proprietario stesso a contattare le maestranze?
 - Dipende dai periodi, se il sughero è molto ricercato allora sono io che mi devo interessare, in caso contrario sono i proprietari stessi a rivolgersi a me.
2. Indicativamente di quante piante da sughero è composto il terreno in questione?
 - Generalmente dalle nostre parti si va dalle 20 piante alle 1.000 piante.
3. Quanti operai sono necessari e quali sono le lavorazioni necessarie?
 - Dipende dai quintali di sughero da estrarre, in genere io vado da un minimo di 5 operai ad un massimo di 10 per estrarre 1000/2000 quintali di sughero.
4. Durante il processo di estrazione vengono prodotti degli scarti? Se sì, quale è la loro destinazione?
 - Si vengono prodotti degli scarti che generalmente rimangono in Sardegna.
5. Il sughero estratto, a seguito della stagionatura, viene venduto alle aziende della Sardegna o ad aziende internazionali?
 - Negli ultimi anni ad aziende internazionali (Portogallo).
6. Nell'anno 2019 quanto è stato valutato in euro il sughero?
 - Circa 150 euro/quintale in massa, ovvero buono, calibrato, sottile e macina.

Potatura delle querce

7. Oltre all'estrazione si occupa anche della potatura degli alberi?
 - No, non mi occupo della potatura degli alberi.
8. Se sì, il materiale prodotto durante questa fase viene venduto? Per quale utilizzo?
 - Viene utilizzato come lo scarto, anche se meno di valore viene utilizzato per l'edilizia.
9. Potrebbe quantificare il materiale prodotto dalla potatura in tonnellate?
 - Non ne ho idea.
10. Quanto viene valutato in euro questo prodotto?
 - Al momento circa 30 euro/quintale.

INTERVISTA ESTRATTORE: (2)**Dati socio-anagrafici**

Età: 44 anni
 Genere: Maschio
 Istruzione: Terza media
 Residenza: Ittiri (SS)

Estrazione del sughero

1. I terreni in cui avviene l'estrazione sono privati? Se sì, è il proprietario stesso a contattare le maestranze?
 - Dipende dalle conoscenze, i terreni non sono solo privati, ma anche comunali. In generale ogni 10 anni a rotazione.
2. Indicativamente di quante piante da sughero è composto il terreno in questione?
 - Dipende, per esempio in un ettaro si possono trovare 40 piante, ma anche 300.
3. Quanti operai sono necessari e quali sono le lavorazioni necessarie?
 - Solitamente due coppie più uno, cinque in totale. A fine stagione magari altri tre operai. (800/1000 quintali quest'anno).
4. Durante il processo di estrazione vengono prodotti degli scarti? Se sì, quale è la loro destinazione?
 - Rimangono sul terreno, ma se venissero raccolti verrebbero venduti.
5. Il sughero estratto, a seguito della stagionatura, viene venduto alle aziende della Sardegna o ad aziende internazionali?
 - Prima in Sardegna, adesso in Portogallo (non c'è IVA). In Sardegna non c'è più mercato.
6. Nell'anno 2019 quanto è stato valutato in euro il sughero?
 - 150 euro/quintale.
 Misto, dipende dalla qualità, la categoria EXTRA è la migliore, fino ad arrivare alla macina.

Potatura delle querce

7. Oltre all'estrazione si occupa anche della potatura degli alberi?
 - È una pulizia poca invasiva, non come l'ulivo ad esempio.
8. Se sì, il materiale prodotto durante questa fase viene venduto? Per quale utilizzo?
 - Provvista per il riscaldamento.
9. Potrebbe quantificare il materiale prodotto dalla potatura in tonnellate?
 - Dipende dal terreno, dalla pianta e dalle sue dimensioni.
10. Quanto viene valutato in euro questo prodotto?
 - 15 euro/quintale.

Come si può osservare, alcune domande permettono un discorso più ampio e articolato, lasciando trapelare, spesso, anche informazioni personali che consentono di conoscere le opinioni degli intervistati su aspetti meno scontati, come, ad esempio, la ricerca delle sugherete e la conoscenza con i proprietari terrieri stessi, che come abbiamo visto detengono la parte più cospicua di questo bosco. Questo tipo di intervista mi ha permesso di comprendere la prima compravendita del sughero, ovvero il legame e gli accordi fra i proprietari terrieri e gli estrattori, e in seguito fra gli estrattori e le aziende. Dalle due interviste svolte emerge uno dei principali limiti di questa filiera: l'estrattore 2 conferma che la maggior parte del sughero, una volta estratto, viene venduto ed esportato in Portogallo, e aggiunge che "in Sardegna non c'è più mercato". Inoltre, il lavoro viene organizzato per squadre, le quali aumentano in base alla quantità di piante presenti sul terreno. Infatti, l'estrattore 1 organizza il lavoro in base ai quintali di sughero da estrarre, ad esempio "massimo 10 per estrarre 1000/2000 quintali di sughero". Infine, dalla domanda pertinente al prezzo di vendita risulta che, secondo quanto esposto dall'estrattore 2, il valore commerciale è stabilito in base al tipo di qualità di sughero estratto e che in generale vale 150€/quintale.

La seconda ed ultima parte, relativa alla fase di potatura, cerca di individuare la presenza di scarti, ovvero la combinazione tra sughero vergine, corteccia interna e legno rimosso da rami potati delle querce, quale sarà la loro eventuale quantità e il prezzo. Da entrambe le interviste emerge che la potatura delle querce è limitata, produce poco materiale ad un prezzo di circa 15-30€/quintale.

2.4.2 Interviste ai produttori

Per questa seconda categoria di attori le interviste si sono svolte in modalità differenti. Una al Sugherificio Molinas (Calangianus) accompagnata da un sopralluogo e l'altra al Sugherificio Peppino Puliga (Olbia) per via telematica. Questa volta le informazioni richieste spostano l'attenzione sulla provenienza della materia prima, le modalità e tipi di produzione in azienda, più una domanda specifica che riguarda il campo dell'edilizia, ovvero le certificazioni. "La marcatura CE dei prodotti da costruzione è una procedura obbligatoria per tutti i prodotti disciplinati del Regolamento comunitario "prodotti da costruzione", deve essere eseguita dal fabbricante di un prodotto che rientra in tale direttiva, il quale dichiara per mezzo della dichiarazione di prestazione che il suo prodotto è conforme ai requisiti di sicurezza e salute e rispetta le prestazioni minimi previsti rispettivamente da questo regolamento e dalla norma armonizzata pertinente"⁽¹⁹⁾. Infine, anche il questionario rivolto alle aziende riporta domande pertinenti alla falca e al suo utilizzo all'interno della struttura dell'impresa.

Dati dell'azienda

Nome:

Indirizzo:

Nome:

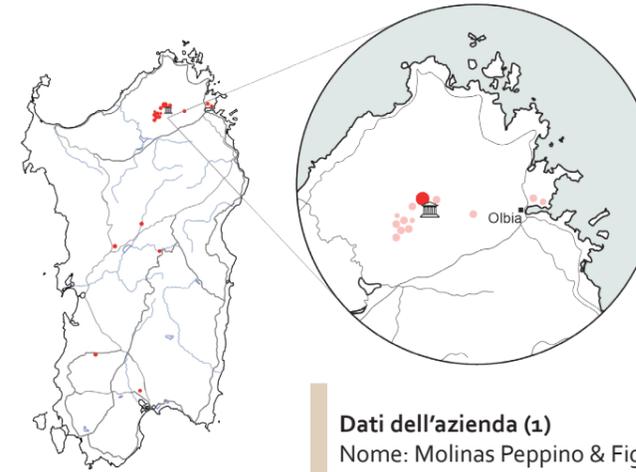
1. Dimensioni aziendali (dipendenti) :

- Piccola (da 10 a 20 dipendenti)
- Media (da 20 a 100 dipendenti)
- Grande (più di cento dipendenti)

2. Produzione dell'azienda:

- Tappi da sughero
- Materiali per l'edilizia

(19) La marcatura CE dei materiali e dei prodotti da costruzione. In [14] Riferimento sitografico



3. Certificazioni (Domanda per aziende che producono materiali per l'edilizia):

- Marcatura CE
- LEED
- Icea
- FSC
- A+
- Altri...

4. La materia prima proviene da:

- Sardegna
- Italia
- Estero (specificare provenienza)

5. Output produttivo aziendale:

- Volume o quantitativo prodotto (in tonnellate):
- Tipo di layout produttivo (per postazioni fisse, reparti ecc.)
- Tempi di produzione (dalla prima lavorazione a fine ciclo)

6. Tipologia di produzione:

- M.T.S. (Make to stock – Produci per il magazzino)
- A.T.O. (Assembly to order – Assembla sulla base dell'ordine)
- M.T.O. (Make to order – Produci sull'ordine)
- E.T.O. (Engineer to order – Progetta sulla base dell'ordine)
- Altro

7. Layout produttivi e suoi macchinari: (specificare lavorazioni eseguite in azienda, ad esempio quali macchinari sono presenti, quante ore sono sfruttati):

8. L'azienda acquista anche il prodotto proveniente dallo sfalcio (potatura)?

- Si
- No

9. Se si, specificarne l'utilizzo

10. Specificare il quantitativo in tonnellate e prezzo in euro

Dati dell'azienda (1)

Nome: Molinas Peppino & Figli Spa Sugherificio
 Indirizzo: Località Ignazioni, 07023 Calangianus SS
 Nome: Nino Scampuddu

1. Dimensioni aziendali (dipendenti):

- Piccola (da 10 a 20 dipendenti)
- Media (da 20 a 100 dipendenti)
- X Grande (più di cento dipendenti) **300 dipendenti**

2. Produzione dell'azienda:

- X Tappi da sughero
- X Materiali per l'edilizia

3. Certificazioni (Domanda per aziende che producono materiali per l'edilizia):

- Marcatura CE
- LEED
- Icea
- X FSC
- A+
- Altri...

4. La materia prima proviene da:

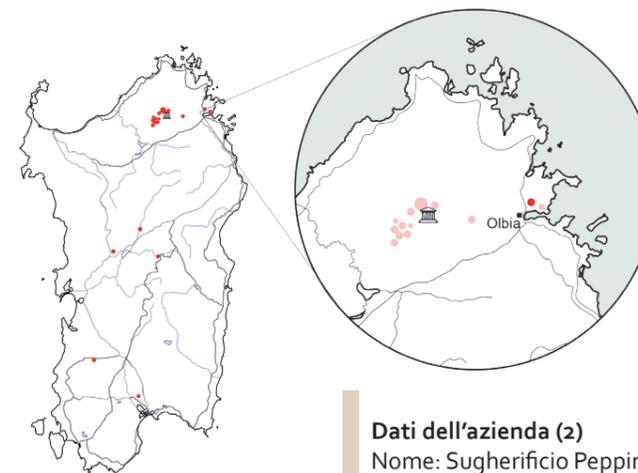
- X Sardegna
- X Italia
- Estero (specificare provenienza)

5. Output produttivo aziendale:

- X Volume o quantitativo prodotto (in tonnellate): **30 tonnellate giornaliere**
- X Tipo di layout produttivo (per postazioni fisse, reparti ecc.) **Postazioni fisse e reparti**
- Tempi di produzione (dalla prima lavorazione a fine ciclo)

6. Tipologia di produzione:

- X M.T.S. (Make to stock – Produci per il magazzino)
- X A.T.O. (Assembly to order – Assembla sulla base dell'ordine)
- X M.T.O. (Make to order – Produci sull'ordine)
- X E.T.O. (Engineer to order – Progetta sulla base dell'ordine)
- Altro



7. Layout produttivi e suoi macchinari: (specificare lavorazioni eseguite in azienda, ad esempio quali macchinari sono presenti, quante ore sono sfruttati):

I macchinari lavorano a ciclo continuo (24h)

8. L'azienda acquista anche il prodotto proveniente dallo sfalcio (potatura)?

- Sì
 No

9. Se sì, specificarne l'utilizzo

Macina da selezionare e bio massa per il fabbisogno energetico dello stabilimento

10. Specificare il quantitativo in tonnellate e prezzo in euro

Dati dell'azienda (2)

Nome: Sugherificio Peppino Puliga SRL

Indirizzo: Via Uganda n.5 Z.I. 07026 Olbia (SS)

Nome: Alberto Puliga

Caratteristiche azienda:

1. Dimensioni aziendali (dipendenti):

- Piccola (da 10 a 20 dipendenti) **7 dipendenti**
 Media (da 20 a 100 dipendenti)
 Grande (più di cento dipendenti)

2. Produzione dell'azienda:

- Tappi da sughero
 Materiali per l'edilizia

3. Certificazioni (Domanda per aziende che producono materiali per l'edilizia):

- Marcatura CE
- LEED
- Icea
- FSC
- A+
- Altri...

4. La materia prima proviene da:

- Sardegna
 Italia
 Estero (specificare provenienza)

5. Output produttivo aziendale:

- Volume o quantitativo prodotto (in tonnellate): **5 tonnellate giornaliere**
- Tipo di layout produttivo (per postazioni fisse, reparti ecc.)
 - Tempi di produzione (dalla prima lavorazione a fine ciclo)

6. Tipologia di produzione:

- M.T.S. (Make to stock – Produci per il magazzino)
 A.T.O. (Assembly to order – Assembla sulla base dell'ordine)
 M.T.O. (Make to order – Produci sull'ordine)
 E.T.O. (Engineer to order – Progetta sulla base dell'ordine)
 Altro

7. Layout produttivi e suoi macchinari: (specificare lavorazioni eseguite in azienda, ad esempio quali macchinari sono presenti, quante ore sono sfruttati):

- **Mulino (7 ore giornaliere)**
- **Bollitura (20 ore settimanali)**
- **Fustelle per tappi (20 ore settimanali)**
- **Rettifiche / Intestazioni / Sceglitrice per tappi (20 ore settimanali)**

8. L'azienda acquista anche il prodotto proveniente dallo sfalcio (potatura)?

- Si
- X No

9. Se sì, specificarne l'utilizzo

10. Specificare il quantitativo in tonnellate e prezzo in euro
(Riferimento alla produzione del tappo)

Circa 1.100 tonnellate/anno

Circa 1.200.000 €/anno

Le due aziende intervistate presentano caratteristiche differenti per dimensioni, tipi di produzione e organizzazione. Infatti, la prima, nonostante abbia ammesso che il business principale sia quello del tappo, afferma che la produzione del reparto edilizio non è mai stata interrotta e che va avanti su commissione. La materia prima estratta proviene da possedimenti dell'azienda sardi e italiani per un totale di circa 8000 ha. La seconda azienda, con soli 7 dipendenti al fronte di 300 dipendenti, d'altro canto si occupa dalla sola produzione di tappi e la materia prima proviene solo ed esclusivamente dalla regione Sardegna. Mentre l'azienda 1 lavora e trasforma 30 tonnellate di sughero giornaliere, l'azienda 2 trasforma solo 5 tonnellate. La differenza fra le due aziende è percepibile anche dall'organizzazione dei reparti e dalla quantità di tempo impiegato per ottenere il prodotto finito. Infatti, l'azienda 2 specifica nel questionario le ore settimanali e giornaliere impiegate per ogni fase, mentre l'azienda 1 lavora a ciclo continuo con turnazioni.

Per quanto riguarda le domande inerenti alla potatura (falca) solo l'azienda 1 utilizza questo sottoprodotto come macina da selezionare o come biomassa per il funzionamento dell'impianto.

2.5 Limiti e criticità della filiera

Dagli anni novanta ad oggi la filiera del sughero è stata soggetta ad importanti cambiamenti dal punto di vista economico, occupazionale e di mercato, legati alla pesante crisi economica che ha coinvolto l'Italia e l'Europa. Un articolo del 2017 del Sole24 Economia conferma ancora questo momento di crisi e, nonostante i tentativi di ripresa, "la corsa del sughero"⁽²⁰⁾ deve rallentare. Le aziende del Distretto della Gallura sono così costrette al licenziamento di circa 70 dipendenti, riducendo il rapporto fra aziende e lavoratori che fino al 2007 contava circa 3 mila lavoratori impegnati annualmente o stagionalmente nel processo produttivo del sughero. Nonostante il Distretto presenti una certa conformità produttiva e organizzativa, per quanto riguarda innovazione, professionalità e socialità, in esso vive un'inconciliabilità dovuta principalmente all'individualismo degli imprenditori che non consente di trovare una direzione univoca per la gestione dell'intero sistema (Tola, 2012). Ne consegue che il distretto ha necessità di pianificare a lungo termine le sue mosse, evitando di far emergere l'"io" in una configurazione molto più dinamica costituita da più persone.

Le indagini condotte sul territorio fanno emergere problematiche concernenti il reperimento della materia prima non sufficiente a coprire la domanda dell'intero comparto. Quasi tutti i proprietari di sugherete preferiscono vendere il sughero direttamente "in pianta", trasferendo i costi di estrazione, trasporto e trasformazione direttamente all'acquirente. La scarsità di materia prima, oggi il principale fattore di debolezza della filiera sarda, fa sì che le aziende regionali si rivolgano a Paesi terzi, creando una discrepanza tra domanda e offerta, causando un aumento dei prezzi del sughero, tanto da arrivare ad un incremento del 60% nell'ultimo decennio. L'aumento del prezzo del sughero genera ulteriori difficoltà agli imprenditori, i quali chiedono prestiti a breve termine alle banche che, a causa della crisi generalizzata, non concedono prestiti per l'acquisto di materia prima. Inoltre, i questionari proposti agli estrattori confermano l'esportazione di materiale grezzo negli altri Paesi UE, in particolare nella penisola iberica dove le aziende hanno dimensioni e volume finanziario considerevoli: una di queste è l'azienda portoghese Amorim, partner dell'azienda italiana Tecnosugheri. Gli stessi questionari ribadiscono l'aumento del prezzo [Tabella 2.1] da 1342 €/t nel 2018, inferiore solo ai 1440-1450 €/t degli anni 2007-2008, fino a 1500 €/t (ovvero 150 €/q in base alla qualità del prodotto) nel 2019 (Cutini, Muscas, Dettori, Filigheddu, Maltoni, Pignatti, Romano, 2019).

(20) Madeddu, D. *Il sughero sardo non riprende la sua corsa. Nuovi licenziamenti in Gallura*, Sole24 Economia, 27 aprile 2017.

Prezzo unitario del sughero

Anni d'indagine	€/t
2007/2008	1440-1450
2018	1342
2019	1500

Tabella 2.1: Prezzo unitario del sughero
Fonte: Rielaborazione dell'autore.

Inoltre, la mancanza di materia prima ha incoraggiato le aziende ad intraprendere una strada diversa dalla sola produzione del tappo, vale a dire gli agglomerati, prodotti secondari grazie ai quali si annullano gli scarti dalla filiera (Tola, 2012). La filiera del tappo in sughero aveva già risentito della diffusione del tappo sintetico, di più facile lavorazione e approvvigionamento. L'orientamento verso altri mercati non legati alla tradizione (contenitore in vetro e tappo in sughero) come, ad esempio, il silicone o il microgranulato, fa pensare a scenari allarmanti ed esige un controllo della qualità del sughero già a partire dal bosco.

Un altro limite di questa filiera è la mancanza di un efficiente piano forestale che, anziché proporre nuove strategie, accentua ancora di più l'assenza di leggi regionali sulla regolamentazione delle foreste gestite, così come anticipato, per la maggior parte da enti privati e in minima parte da enti regionali. La gestione privata delle sugherete evidenzia, al contrario della struttura industriale, delle criticità molto evidenti quando si tratta di pianificazione e gestione del bosco. In questo caso la filiera del sughero si spezza, creando di fatto una discontinuità nel ciclo produttivo: per considerevoli aree territoriali non si riesce ad assicurare una continuità fra le imprese private, proprietarie dei boschi, e le gestioni pubbliche regionali (Dettori, Filigheddu, 2013). A tal fine sono necessarie nuove misure non solo a livello regionale ma anche a livello nazionale per indicare una definizione univoca di sughereta, chiarire e seguire un unico progetto per l'intera filiera e stabilire finanziamenti per la ripresa del comparto [15].

Un'altra criticità nasce dall'assenza di collegamenti agevoli tra i vari impianti produttivi, dati dalla scarsa presenza di arterie stradali efficienti. Infatti, osser-

vando la figura 2.3 emerge che le aziende, soprattutto quelle del distretto, sono lontane dalle strade principali, causando problemi per l'approvvigionamento ed il trasporto da e per la terra ferma.

Infine, durante la fase di ricerca è stato difficile reperire mappe e cartografie aggiornate che mi permettessero di avere un quadro generale quanto più preciso e attuale possibile. Lo stesso discorso vale per le quantità regionali prodotte in questi ultimi anni, in parte deducibili solo grazie alle interviste svolte agli estrattori e alle aziende che si sono rese disponibili a questo tipo di ricerca.

PARTE II : INDAGINE TECNICO-SCIENTIFICA SUL SUGHERO

3. Ricerca e stato dell'arte

3.1 Introduzione

In questo capitolo vengono illustrate la metodologia e la conseguente ricerca scientifica che mi hanno permesso di avere un quadro generale dettagliato sugli studi già effettuati sul tema e sullo stato dell'arte dei materiali a base sughero. Più nello specifico, questo tipo di ricerca ha mostrato quale sia il panorama tecnico del sughero, oltre che i processi e le tecnologie, ed infine una riflessione centrata sul divario fra la ricerca e lo sviluppo di materiali in sughero e le sue applicazioni. Il capitolo espone anche gli strumenti utilizzati grazie ai quali è stato possibile argomentare tali considerazioni e un punto d'arrivo nei capitoli successivi.

3.2 Ricerca scientifica

Data la complessità del tema, per una documentazione esauriente, è stato necessario integrare i questionari, proposti ed approfonditi nel capitolo precedente, con un'indagine di tipo digitale in modo da catalogare i libri, articoli scientifici o altro disponibile sul web. Il reperimento di dati e informazioni relative tutto ciò che riguarda il tema sughero mi ha permesso di ottenere un quadro sullo sviluppo del prodotto.

La domanda di ricerca dalla quale sono partita riguarda il sughero, un materiale naturale, riciclabile e rinnovabile che, dato il suo elevato potenziale e i diversi processi di trasformazione, può essere utilizzato in variegate applicazioni.

Inoltre, è fondamentale capire in quale direzione si sta muovendo questa filiera, quali sono le intenzioni delle aziende e quali, se pur in piccola parte, sono i punti deboli che potrebbero essere uno spunto di riflessione e approfondimento. Questa riflessione è stata il punto di partenza per le fasi di ricerca e documentazione relative il tema di questa tesi. È stato fondamentale considerare il comparto sughero non solo a livello regionale (Sardegna), ma anche a livello nazionale ed internazionale, in modo tale da conoscere questo materiale e le sue tecnologie.

3.2.1 Raccolta dati

La ricerca mi ha permesso di ricavare dati ancora più specifici, che riguardasero in primo luogo il modus operandi delle aziende e come secondo i prodotti che ne conseguono. L'industria del sughero in Italia risulta essere sviluppata e competitiva ma non come quella portoghese che, come abbiamo visto nel capitolo uno, è leader mondiale nella trasformazione e produzione di prodotti in sughero. Tali dati sono stati raccolti tramite l'utilizzo di "keywords" al fine di formare un campione relativo il tema e ricavare quante più informazioni possibili e mirate. Questa metodologia mi ha permesso di avere una visione più ampia rispetto alla bibliografia di base. I motori di ricerca consultati sono: Google Scholar, Researchgate, Academia.edu, Base, Archidaily, Science Direct, Bio Resouces e Architecturale Science Review. La ricerca è stata svolta grazie alle parole chiave, quali "cork", "suber", "cork applications", "cork as a building materials", "composites with cork", "Bio construction in cork", "Cork agglomerate panels", "Cork agglomerate", "Cork fibre", "Earth brick anche cork", "Cork and lime", "Granulates cork" e infine "Cork composite material". Sono stati ricavati circa 80 articoli scientifici che discutono ed approfondiscono il tema "compositi". Più nello specifico, alcuni articoli sono stati approfonditi e schedati nel paragrafo successivo, in modo tale da fornire una lettura più chiara. Infine, la ripartizione territoriale degli articoli risulta proporzionale all'estensione delle sugherete nel bacino del mediterraneo [Tabella 3.1] (Cutini, Muscas, Carta., Casula, Dettori, Filigheddu, Maltoni, Pignatti, Romano, 2019): Portogallo e Spagna si collocano al primo posto con un 70% della produzione scientifica sul tema, seguono Francia e Italia con un 10%, ed in ultimo i paesi non produttori ma utilizzatori come Germania e USA.

Nazione	Percentuale
Portogallo	70 %
Francia	circa 10 %
Italia	circa 10 %
Tunisia	3,4 %
Marocco	1,2 %

Tabella 3.1: Ripartizione territoriale degli articoli scientifici sul sughero
Fonte: Cutini, A., Muscas, F., Carta, V., Casula, A., Dettori, S., Filigheddu, M.R., Maltoni, S., Pignatti, G., Romano, R., 2019. Analisi e proposte per la valorizzazione della sughericoltura e della filiera sughericola italiana. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma, 2020. p. 18.

Google Scholar			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. Cork	Thermal properties of the composite material clay/granular cork Cork for Sustainable Product Design Rate effects on the compression and recovery of dimensions of cork	Soumia Mounir, Youssef Maaloufa, Abdelhamid Khabbazi	2014
		Mestre, Ana, Gil, Luis. M. Emilia Rosa & M. A. Fortes	2011 1988
2. composites with cork	Effects of Fillers on Polyurethane Resin-based Polyurethane Elastomeric Bearing Materials for Passive Isolation	Stefan Oprea	2008
Researchgate			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. Cork Architecture	-Cork: New uses in Architecture -Cork as a building material: a review	Cristina Verissimo Knapic, Sofa & Oliveira, Vanda & Machado, José & Pereira, Helena.	2018 2016
		Saadallah, Younis & Zemour, Iqbal & Boulemaekher, Faris. Silva, Mónica & Silva, S. & Oliveira, J.	2019 2017
2. Cork	-Experimental investigation of mechanical behavior of agglomerated cork -EFFECT OF CORK CONTENT ON THE DEVELOPMENT OF THERMOPLASTIC POLYURETHANE/CORK COMPOSITES FOR ADDITIVE MANUFACTURING -Cork: a strategic material	Luis Gil	2014
		Soares, Bruno & Reis, Luis & Sousa, Luis. Jurczyk, Sebastian & Musiol, Marta & Sobota, Michal & Klim, Magdalena & Hercog, Anna & Kurcok, Piotr & Janeczek, Henryk & Rydz, Joanna. Sargianis, James & Kim, Hyung-ick & Suh, Jonghwan.	2011 2019 2012
3. Bio construction in Cork	-Cork composites in Sandwich structures: Bending behavior and comparison with PVC foam cores -(Bio)degradable Polymeric Materials for Sustainable Future-Part 2: Degradation Studies of P(3HB-co-4HB)/Cork Composites in Different Environ -Natural Cork Agglomerate Employed as an Environmentally Friendly Solution for Quiet Sandwich Composites. -Insulation Cork Boards—Environmental Life Cycle Assessment of an Organic Construction Material	José D. Silvestre, Nuno Pargana, Jorge de Brito, Manuel D. Pinheiro and Vera Duão	2016 2018
4. Cork agglomerate panels	-Experimental characterisation of cork agglomerate core sandwich panels for wall assemblies in buildings -Innovative use of giant reed and cork residues for panels of buildings in Mediterranean area	Ferreira, Ricardo & Pereira, Diogo & Gago, António & Proença, Jorge. Barreca, Francesco & Gabarron, Antonio & Yepes, José & Pastor, J.	2016 2018
		Marques, Beatriz & Tadeu, Antonio & Antonio, Julieta & Almeida, João & Brito, Jorge. Luis Gil	2019 1997
5. cork agglomerate	-Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded corkby-products -Cork powder waste: An overview -Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core	Hoto, Rene & Furundarena, G. & Torres, Juan Pablo & Muñoz, E. & Andr�s-Esperanza, Javier & Garcia-Manrique, Juan.	2014
		Sair, Said & Bouchaib, Mandili & Taqi, M. & Abdeslam, El Bouari. Fernandes, Emanuel & Corelo, Vitor & Mano, João F. & Reis, Rui L. Fernandes, Emanuel & Silva, V. & Chagas, J. & Reis, Rui L.	2019 2013 2011
6. cork fibre	-Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation -Natural Fibres as Reinforcement Strategy on Cork-Polymer Composites -Fibre-reinforced cork-based composites	Guettala, Salim & Bachar, Mohamed & Azzouz, Lakhdar. M. Carmen Jiménez Delgado, Ignacio Can as Guerrero Correia-da-Silva, J.J. e Pereira	2019 2005 2013
		Bachar, Mohamed & Azzouz, Lakhdar & Mohamed, Rabei & Mezghiche, Bouzidi.	2014
7. earth brick and cork	-Properties of the Compressed-Stabilized Earth Brick Containing Cork Granules. Journal of Earth Science and Climatic Change -Earth building in Spain. Construction and building materials -Improving Thermal Performance of Rammed Earth Walls Using Expanded Granulated Cork -Characterization of a stabilized earth concrete and the effect of incorporation of aggregates of cork on its thermo-mechanical properties: Experimental study and modeling	Jerónimo, Alexandre & Soares, Celia & Aguiar, José Luis & Lima, Nelson. Brito, Ana & Leal, M�rcio & Faria, Paulina.	2020 2013
		Karade, Sukhdeo & Irle, Mark & Maher, Kevin & Caldiera, F. Jalali, Said & Eires, Rute & Cam�es, Aires. Madenuelo-Sanz, Rubén & Morillas, Juan & Escobar, Valentin.	2002 2005 2014
8. cork and lime	-Hydraulic lime mortars incorporating micro cork granules with antifungal properties -Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPs mortars performance	Rodríguez Pasand�n, Ana M�a & Galán-Díaz, J.J. & Pérez Pérez, Ignacio J. M. Oliveira, Sara Magalhães da Silva, Flávia Vieira	2019 2019
		Oliveira, Fernando & Silva, Etienne & Carmo, Sidney & Steffens, Fernanda & Souto, Ant�nio. Vasconcelos, Graça & Camões, Aires & Martins, Andreia & Jesus, Carlos & Figueiro, Raul & Silva, L.	2014 2014
9. Granulates cork	-Cork granules as lightweight aggregate -Experimental characterization of granulated cork lightweight concrete -The performance of resilient layers made from cork granulates mixed with resins for impact noise reduction	Sboui, Mouheb & Nsib, Mohamed & Rayes, A. & Swaminathan, Meenakshisundaram & Houas, Ammar Haider, Andreas & Leiflumer, J�rgen & Santos, Nuno & Santos, Jorge Silva, José & Devezas, Tesselano & Silva, Arlindo & Gil, Luis & Nunes, C. & Franco, N. Marques, Ant�nio & N�voa, Paulo Jorge & De Moura, Marcelo & Arteiro, Albertino Pereira, Helena	2017 2020 2010 2017 2007
		Daver, F. & Lee, Kok & Brandt, Milan & Shanks, Robert Karade, Sukhdeo	2018 2003
10. Cork powder	-Adhesion analysis of waste cork dust as filler for bituminous mixtures -Biodegradable Polymer blends based on cornstarch and cork powder: a study case of cork-polymer composites (CPC) -Functionalization of Natural Cork Composite with Microcapsules after Plasma Treatment -Experimental characterization of gypsum-cork composite material reinforced with textile fibers. -TiO 2 -PANi/Cork composite: A new floating photocatalyst for the treatment of organic pollutants under sunlight irradiation -Smart Composites – A new composite generation -Exploring the Use of Cork Based Composites for Aerospace Applications -CorkBased Structural Composites -Cork agglomerates and composites -Cork-PLA composite filaments for fused deposition modelling -An investigation of cork-cement composites		
Academia.edu			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. Cork	-The cellular structure of cork from Quercus cerris var. cerris bark in a materialsperspective -Eco-ceramics: cork-based biomimetic ceramic 3-DOM foams	Helena Pereira Robert C. Pullar and Rui M. Novais	2011 2017
		Imed BEGHOURA, Jo�o CASTRO-GOMES, Haroon IHSAN, Nuno ESTRADA	2017
2. Suber	-FEASIBILITY OF ALKALI-ACTIVATED MINING WASTEFOAMED TERIALS INCORPORATING EXPANDED GRANULATED CORK	Faiza Ben Abdallah & Ridha Ben Cheikh & Mohamed Baklouti & Zlatan Denchev & Antonio M. Cunha Neila Franco	2009 2010
		Maria Helena Godinho, Assis Farinha Martins, Mohamed Maceur Belgacom, Luis Gil, Nereida Cordeiro Rui M. Novais, Luciano Senff, Joao Carvalheiras, Maria P. Seabra, Robert C. Pullar, Joao A. Labrincha	2011 2018
3. Composites cork	-Sustainable and efficient cork - inorganic polymer composites: An innovative and eco-friendly approach to produce ultra-lightweight and low thermal conductivity materials -Mechanical performance of asphalt mixtures produced with cork or rubber granulates as aggregate partial substitutes -Novel sustainable composites prepared from cork residues and biopolymers	Pereira, Sim�o M.S., Joel R.M. Oliveira, Elisabete F. Freitas, and Pedro Machado Vilela, Carla, Andreia F. Sousa, Carmen S.R. Freire, Armando J.D. Silvestre, and Carlos Pascoal Neto	2013 2013
		Beghoura, Imed, Joao Castro-Gomes, Haroon Ihsan, John Pickstone, and Nuno Estrada	2019
4. cork and fiber	- Thermal and Mechanical Behavior of the Plaster Reinforced by Fiber Alpha or Granular Cork - Properties and uses of consolidated cork dust - Granular Cork Content Dependence of Thermal Diffusivity, Thermal Conductivity and Heat Capacity of the Composite Material/Granular Cork Bound with Plaster	Youssef Maaloufa, Soumia Mounir, Abdelhamid Khabbazi, Jallal Kettar Claire Barlow Abou-bakr Cherki, Abdelhamid Khabbazi, Ben�lamin Remy, Dominique Bailis	2017 1992 2013
BASE			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. cork	- Cork Composites: A Review - Cork: sustainability and new applications	Luis Gil Luis Gil	2009 2015
		S. P. Silva, M. A. Sabino, E. M. Fernandes, V. M. Correlo, L. F. Boesel & R. L. Reis Sergi, C.; Tirill�, J.; Sarasini, F.; Barbero Pozuelo, E.; Sanchez Saez, S.; Burgstaller, C.	2005 2019
2. Cork applications	- Cork: properties, capabilities and applications - The Potential of Agglomerated Cork for Sandwich Structures: A Systematic Investigation of Physical, Thermal, and Mechanical Properties	Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J.S.	2016
3. Cork as a building material	- Cork as a building material: a review	Santos, Palloma C.; Fernandes, I.P.; Ribeiro, J.E.; Pietrobelli, J.M.T.A.; Barreiro, M.F. Vasconcelos, Graça, Cam�es, Aires Figueiro, Ra�l Vila-Ch�, Nuno Jesus, Carlos M. G. Cunha, Fernando Eduardo Macedo Ana Cristina Pinto Couto	2018 2013 2013
4. Cork composites	- Development of bio- and eco-composites for the footwear industry - Use of textile fibres in the reinforcement of a gypsum-cork based composite material - Avalia�o do Sistema de Gest�o de Res�duos da AMORIM CORK COMPOSITES		

Archidaily			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. Cork as a building material	- Could Cork Be Nature's Answer to Our Environmental and Construction Needs?	Ellena Thors	2017
Science direct			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
1. earth brick and cork	- Mechanical and thermal characterization of stabilized earth bricks	Elisabete R. Teixeira, Gilberto Machado, Adilson de P. Junior, Christiane Guarnier, Jorge Fernandes, Sandra M. Silva and Ricardo Mateus	2017
2. cork agglomerate	- Reinforcement of cellular materials with short fibres: Application to a bio-based cork multi-scale foam - Experimental thermal characterization of bio-based materials (Aleppo Pine wood, cork and their composites)	Le Barbenchon, Louise & Kopp, Jean-Benoît & Girardot, Jérémie & Viot, Philippe, Amel, Limam & Zenzer, Abdellatif & Cuenard, Daniel & Hebert, Sallee & Abdelkrim, Chenak.	2020 2016
3. cork composite material	- Experimental thermal properties characterization of insulating cork-gypsum composite - Novel cork-polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition	Cherkj, Abou-bakr & Remy, B. & Khabbazi, Abdelhamid & Jannot, Yves & Baillis, Dominique. Emanuel M. Fernandes, Vitor M. Correlo, João F. Mano, Rui L. Reis	2014 2013
4. cork	- Hybrid cork-polymer composites containing sisal fibre: Morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties and tensile failure prediction - Suberin: A promising renewable resource for novel macromolecular materials - Production of biomaterials from cork: Liquefaction in polyhydric alcohols at moderate temperatures	Emanuel M. Fernandes, João F. Mano, Rui L. Reis Gandini, Alessandro & Neto, Carlos & Silvestre, Armando. Cheumani, Amaud & Budjia, Franc & Kričej, Borut & Kutnar, Andreja & Pavlič, Matjaž & Porj, Pavel & Tavzes, Črtomir & Petrič, Marko.	2013 2006 2014
Bio resources			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
	- Preparation and Characterization of Cork Layered Composite Plywood Boards - The rationale behind cork properties: A review of structure and chemistry - Experimental investigation on the flexural and dynamic mechanical properties of jute fiber/cork-reinforced polyester sandwich composites - Experimental study on thermal and morphological analyses of green composite sandwich made of flax and agglomerated cork	Král, Pavel & Klimek, Petr & Mishra, Pawan & Rademacher, Peter & Wimmer, Rupert. Pereira, Helena Karaduman, Y. S. Prabhakaran, V. Krishnaraj, Shubham Sharma, M. Senthikumar, R. Jegathishkumar & R. Zitoune	2014 2015 2018 2019
Architecturale science review			
Parola chiave	Titolo Articolo	Autore	Anno di pubblicazione
	Improving rammed earth wall thermal performance with added expanded granulated cork	J.J. Correia da Silva, João P.B. Pereira & Jorge Sirgado	2015

3.2.2 Discussione dei dati

In questo paragrafo sono discussi alcuni articoli utili all'argomentazione di questa tesi. I dettagli di tali articoli sono messi in evidenza attraverso delle schede che inquadrano gli argomenti trattati e gli eventuali materiali combinati con il sughero.

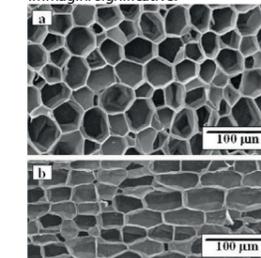
L'industria del sughero conferma a livello internazionale, così come nella regione Sardegna, un'elevata competenza, dalla quale, però, non si ottiene un massimo rendimento, causando perdite di redditività poiché si deve avviare all'insufficiente quantità di materia prima che deve essere importata da altre zone in cui è presente e dove non viene lavorata. L'attuale mercato del sughero si basa su quello che è il business, ovvero il tappo, mentre il suo sottoprodotto (derivato dalle diverse lavorazioni) è impiegato in edilizia per l'isolamento, e in altre produzioni minori per far fronte alla competizione da parte di altre filiere, come ad esempio il legno e/o i polimeri. In questi ultimi anni, il sughero è stato scelto come materiale per applicazioni nell'industria aerospaziale grazie alle sue proprietà termiche, di combustione lenta e l'assorbimento degli urti. Più in generale, l'industria vinicola (tappi di sughero) comprende il 69% di tutta produzione, accompagnata da un 13% destinato invece al settore dell'edilizia. Se consideriamo i soli i materiali per l'edilizia si parla di cubi, blocchi o altri prodotti agglomerati, che contano 72 milioni di euro e 28 mila tonnellate (Mestre, Gil, 2011).

Quando si parla di sviluppo tecnologico dobbiamo tenere in considerazione i diversi livelli di originalità e rischio delle aziende interessate, le quali sono maggiormente propense all'investimento se il prodotto viene ritenuto "sicuro". In Portogallo, ad esempio, le aziende più grandi controllano le quantità maggiori di prodotto e pertanto hanno la possibilità e l'interesse nell'investire in nuovi prodotti. Le imprese più piccole, invece, lavorando su quantità inferiori di materiale non riescono a diversificare la produzione. Questa filiera presenta in generale bassi consumi energetici, perché il fabbisogno energetico viene in parte soddisfatto utilizzando rifiuti di biomassa vegetale, ovvero il cippato. Inoltre, il fabbisogno energetico di una struttura produttrice di sughero e derivati è soddisfatto anche dalla polvere di sughero. Quest'ultima viene considerata dalle aziende un rifiuto, ma ha un grande potenziale dal punto di vista economico e come combustibile. Negli ultimi tempi, la polvere di sughero è utilizzata come carbone attivo per la rimozione di metalli pesanti in acque reflue, in quanto la presenza di acidi grassi lo rende un bio assorbente rigenerabile e a basso costo. Alcuni studi indicano i vantaggi nell'impiegare questa risorsa per l'assorbimento di metalli pesanti a bassa concentrazione, critici da eliminare con semplici soluzioni acquose (Silva, Sabino, Fernandes, Correlo, Boesel, Reis, 2005).

TITOLO: Cork: properties, capabilities and applications

Autori: Silva, S.P., Sabino, M.A., Fernandes, E.M., Correlo, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L.
Rivista: International Materials Reviews
Anno di pubblicazione: 2005

Immagini significative:



a radial section; b tangential section
SEM micrograph of natural cork (after boiling)

Contenuti e metodologia

Recensire il sughero e le sue proprietà definite dalla struttura e morfologia che determinano le prestazioni complessive. Applicazioni attuali e applicazioni future.

Lo studio cerca di riprendere tutte le ricerche fatte sul sughero a partire dalle sue origini, allo scopo di individuare tutti gli sviluppi e tutte le innovazioni che lo riguardano con uno sguardo attento verso i suoi sottoprodotto.

Materiali analizzati

- Sughero

Risultati

Da questo studio è chiaro che il sughero è un materiale ampiamente utilizzato e mostra notevoli potenzialità. Grazie alle tecnologie di indagine odierne sono emersi risultati soddisfacenti che pongono buone basi per il potenziamento di questo materiale. Il sughero è un materiale adattabile e può essere sfruttato nella creazione di composti altamente tecnologici.

Un altro prodotto che sta ricevendo attenzioni è l'ecoceramica, la quale può essere prodotta attraverso l'utilizzo di risorse comuni e rinnovabili come i materiali di scarto, tra cui la polvere di sughero. Questi materiali sono selezionati in base alla loro struttura porosa e alla loro resistenza. Il composito può essere utilizzato in applicazioni come filtri e catalizzatori in automobilistica e in ambito aerospaziale come materiale assorbente, termoisolante e di schermatura. Sono stati riscontrati dei vantaggi al momento della realizzazione del prodotto, in quanto, rispetto ad una ceramica tradizionale, i tempi di cottura sono inferiori. Lo studio pubblicato si riferisce nella maggiore dei casi al legno, ma il sughero è una valida alternativa (Silva, Sabino, Fernandes, Correló, Boesel, Reis, 2005). Infine, il sughero sotto forma di polvere presenta anche un potenziale farmacologico grazie al basso contenuto di peso molecolare. Ad oggi, gli studi discutono di prodotti come antistaminici, antiossidanti, antiulcera e antinfiammatori ed il loro utilizzo potrebbe essere una variante possibile alle soluzioni sintetiche già sul mercato (Silva, Sabino, Fernandes, Correló, Boesel, Reis, 2005).

Tuttavia, se si osservano i mercati attuali, si possono trovare limitazioni dovute all'insufficienza di nuove strategie, soprattutto per quanto riguarda lo sviluppo del materiale, e un aumento dei prezzi della materia prima. L'industria del sughero si focalizza, infatti, solo su prodotti e applicazioni tradizionali, i quali, nella maggior parte dei casi, non significano più competitività e diversificazione. Un'altra lacuna riguarda il rapporto reciproco fra le università, aziende ed enti pubblici e la sempre più influente mancanza di risorse finanziarie utili a reggere economicamente le imprese, le quali sempre più spesso si riducono e fanno emergere chi controlla il mercato.

Negli ultimi anni la tendenza è quella di richiamare i valori della sostenibilità, cercando di creare, per quanto possibile, una nuova immagine per l'intero comparto che viri verso uno sviluppo sostenibile, in un mercato in cui la tendenza va verso prodotti naturali. Il futuro della filiera è nelle mani della tecnologia e del potenziamento del prodotto, differenziando i modelli e le diverse combinazioni, tenendo conto delle figure professionali, quali architetti, designer e ingegneri, al fine di mantenere lo status (già vantaggioso) sul mercato. Per quanto concerne i compositi e la fabbricazione di agglomerati rigidi, è un mondo che deve essere ancora esplorato, tenendo sotto esame le sempre più specifiche tecnologie di stampaggio per la progettazione del prodotto.

A tal proposito, le "keyword" o parole chiave, di cui abbiamo parlato in precedenza, mi hanno condotto ad una riflessione diversa, basata questa volta su come il materiale sughero possa essere implementato ed impiegato in architettura e più in generale in edilizia.

Se si considera la mancanza di materia prima, secondo alcuni studi è importante accrescere la produzione di sughero a partire dalla pianta, ovvero la quercia, effettuando l'estrazione della corteccia, che porterà la pianta stessa a produrre circa quattro volte più sughero, con benefici sull'intero sistema vegetale (Karade, Irle, Maher, Caldiera, 2002).

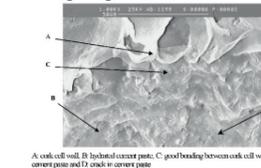
TITOLO: Cork granules as lightweight aggregate

Autori: Karade, S., Irle, M., Maher, K., Caldiera, F

Rivista: in Challenges of Concrete Construction: Volume 5, Sustainable Concrete Construction

Anno di pubblicazione: 2002

Immagini significative:



Contenuti e metodologia

Dopo una ricerca preliminare incentrata sul sughero, il presente studio si occupa dell'unione e delle interazioni sughero-cemento, definandone tutti i parametri fisico tecnici. Più nello specifico il sughero, in cinque diverse granulometrie, viene unito per alleggerire la matrice cementizia. Di seguito riportate le sperimentazioni fatte:

- idratazione del cemento
- prove a compressione e flessione
- incollaggio mediante studi SEM
- studi mineralogici con tecniche radiografiche.

Materiali analizzati

- Sughero combinato al cemento

Risultati

L'aggiunta di sughero comporta la riduzione della resistenza del composito, al contrario ne aumentano la tenacità. A seguito di un determinato numero di prove i provini sono giunti a rottura nonostante l'ottima coesione fra i granuli e la matrice. Visto che i granuli contengono l'85% in volume di aria vuoti la densità del calcestruzzo si riduce complessivamente. In generale, i risultati indicano una buona compatibilità fra cemento e sughero e una diversificazione delle miscele potrebbe rappresentare un buon punto di partenza per applicazioni nuove e specifiche.

Tali giovamenti, in termini di consumo di anidride carbonica, sarebbero considerevoli dato l'aumento di domanda del materiale da parte delle aziende (Thoms, 2017). Inoltre, in natura sono presenti altre cortecce che hanno le stesse caratteristiche della scorza del *Quercus suber L.*, e sono: la *Betula pendula*, la *Pseudotsuga menziesi* e il *Pinus pinaster*.

Qualora questo materiale venisse estratto, sarebbe possibile utilizzarlo solo come granulato o agglomerato, perché le cellule presenti al suo interno sono più piccole e il tessuto presenta una quantità di lignina più elevata (Sen, Quilhó, Pereira, 2011).

TITOLO: Could Cork Be Nature's Answer to Our Environmental and Construction Needs?

Autori: Thoms, E.
Rivista: Archidaily
Anno di pubblicazione: 2017

Contenuti e metodologia

In questi anni, il sughero è stato riscoperto come materiale versatile ed adattabile a numerose applicazioni. Inoltre, il suo impiego, essendo un materiale naturale, non causa danni all'ambiente e al contrario favorisce l'assorbimento di anidride carbonica e la biodiversità di habitat forestali.

Materiali analizzati

- Sughero

Risultati

14 nuovi esempi in cui il sughero, in quanto materiale da costruzione, viene integrato con l'edificio.

TITOLO: The cellular structure of cork from *Quercus cerris* var. *cerris* bark in a materials' perspective

Autori: Sen A., Quilhó T., Pereira H.
Rivista: Industrial Crops and Products
Anno di pubblicazione: 2011

Contenuti e metodologia

Lo studio confronta le cortecce di altre piante con la quercia da sughero (*Quercus suber* L.). Se ne discutono le caratteristiche strutturali attraverso osservazioni micro e macroscopiche, al fine di determinare tutte le proprietà delle celle in base alla loro geometria e disposizione. L'obiettivo è di stabilire quali siano le caratteristiche in comune e come queste possano essere sfruttate per future applicazioni.

Materiali analizzati

- Sughero
- Corteccia *Betula pendula*
- Corteccia *Pinus pinaster*
- Corteccia *Pseudotsuga menziesii*

Risultati

Secondo questo studio, le cortecce analizzate hanno qualità inferiori rispetto alla corteccia da sughero. Tali qualità potrebbero essere sfruttate nella creazione di agglomerati, dove le proprietà, se pur inferiori, non sarebbero di un impatto rilevante.

Possiamo considerare il sughero come membrana, come finitura oppure come un materiale autoportante. Tuttavia, prima che il sughero possa essere sfruttato a pieno nella pratica, è necessario intraprendere ulteriori ricerche al fine di ottenere una visione più ampia nel comportamento dei nuovi materiali compositi a base sughero. In questo scenario di ricerca il coinvolgimento dell'industria è fondamentale. Infatti, è dimostrato che è possibile lavorare con diverse aziende e con un ampio spettro di materiali (Karade, Irle, Maher, Caldiera, 2002).

I prodotti in sughero possono essere utilizzati anche nell'industria in qualità di sottoprodotti della filiera, progettando delle soluzioni di compositi, sandwich e altri materiali. Il sughero è un materiale viscoelastico che consente grandi deformazioni sotto compressione senza arrivare alla frattura del materiale. Inoltre, è dotato di un sorprendente recupero dimensionale quando lo stress diminuisce, e la sua bassa conducibilità termica lo qualifica per l'isolamento termico e per tutte quelle applicazioni in cui sono presenti carichi compressivi. Se utilizzato da solo, il sughero presenta un comportamento meccanico che preclude il ruolo strutturale, mentre presenta buone caratteristiche se è associato ad una fibra naturale e ad un polimero, i quali ne migliorano le prestazioni (Knapic, Oliveira, Machado e Pereira, 2016).

TITOLO: Cork as a building material: a review

Autori: Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J., Pereira, H.
Rivista: European Journal of Wood and Wood Products
Anno di pubblicazione: 2016

Immagini significative:

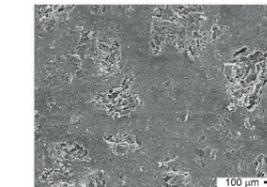


Fig. 10 Macroscopic appearance and cellular structure shown by SEM of natural cork

Contenuti e metodologia

Si tratta di una recensione sul sughero, in particolare sono descritti i suoi prodotti (agglomerati e compositi) e applicazioni in edilizia.

Materiali analizzati

- Sughero

Risultati

Il sughero impiegato in edilizia migliora l'isolamento termico e acustico degli edifici. Utilizzare i compositi a base sughero consente un'impronta ambientale molto bassa e per questa ragione è considerato un materiale sostenibile.

A tal proposito, diversi ricercatori hanno sperimentato l'unione del sughero sotto forma di derivato ad una fibra naturale come ad esempio la fibra di basalto, lino, cocco, sisal, juta. Lo studio "*Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core*" del 2014 mostra la fibra di basalto e di lino utilizzate come rinforzo, ed associate ad un pannello di sughero agglomerato, mentre come matrice è stata utilizzata la resina epossidica. Questo prodotto mostra un buon comportamento a flessione e si candida come un'interessante alternativa ai prodotti tradizionali.

TITOLO: Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core

Autori: Hoto, R., Furundarena, G., Torres, J.P., Muñoz, E., Andrés-Esperanza, J., Garcia-Manrique, J.
Rivista: Materials Letters
Anno di pubblicazione: 2014

Contenuti e metodologia

Questo studio è un'indagine sperimentale che riguarda il comportamento flessionale e di assorbimento dell'acqua di un nuovo sandwich asimmetrico composito verde a basso costo.

Materiali analizzati

- Sughero
- Fibra di basalto e lino
- Matrice: resina epossidica

Risultati

Da questo studio emerge che i compositi naturali sono una valida alternativa ai compositi tradizionali.

Un'altra ricerca del 2013 intitolata "*Natural Fibres as Reinforcement Strategy on Cork-Polymer Composites*" mostra come la polvere di sughero combinata alle fibre di cocco discontinue e unite da una matrice polimerica, come ad esempio il polietilene ad alta densità, migliori le prestazioni meccaniche del manufatto e contribuisca ad aumentare la componente bio di questo prodotto. È importante citare non solo le fibre naturali aggiunte al sughero, ma anche il sughero sotto forma di fibre. Infatti, le fibre di sughero unite ad una resina termoindurente sono state utilizzate per creare una schiuma biologica nello studio "*Reinforcement of cellular materials with short fibres: Application to a bio-based cork multi-scale foam*" di Le Barbenchon, Louise & Kopp, Jean-Benoît & Girardot, Jérémie & Viot, Philippe del 2020.

Esse migliorano il comportamento meccanico del composito, il quale risulterà più leggero e perciò adatto ad applicazioni industriali.

TITOLO: Natural Fibres as Reinforcement Strategy on Cork-Polymer Composites

Autori: Fernandes, E., Correlo, V., Mano, J.F., Reis, R.L.
Rivista: Materials Science Forum
Anno di pubblicazione: 2013

Contenuti e metodologia

La polvere di sughero, il sottoprodotto più importante della lavorazione del sughero, combinato con matrici termoplastiche come il polietilene ad alta densità (HDPE), offre una nuova classe di materiali compositi sughero-polimero (CPC) ad alto valore aggiunto. Pertanto, è necessario considerare strategie di rinforzo per aumentare le prestazioni meccaniche, soprattutto quando viene aggiunto un alto contenuto di polvere di sughero alla formulazione. Le fibre di cocco hanno diversi vantaggi, come bassa densità, fonte rinnovabile, basso costo e biodegradabilità.

Materiali analizzati

- Polvere di sughero
- Polietilene
- Fibra di cocco

Risultati

Il nuovo composito può essere impiegato in diverse applicazioni come in edilizia, sistemi di costruzione e applicazioni 3D strutturali.

TITOLO: Reinforcement of cellular materials with short fibres: Application to a bio-based cork multi-scale foam

Autori: Le Barbenchon, L., Kopp, J.B., Girardot, J., Viot, P.
Rivista: Mechanics of Materials
Anno di pubblicazione: 2020

Contenuti e metodologia

L'esperimento si basa sulla realizzazione di una schiuma di origine naturale formata da fibre di sughero e una resina termoindurente, allo scopo di testarne le proprietà meccaniche.

Materiali analizzati

- Fibre di sughero
- Resina termoindurente

Risultati

Lo studio mostra che le proprietà delle schiume agglomerate possono quindi essere migliorate e adattate mediante l'aggiunta di fibre corte e rendere possibile il risparmio di peso in diverse applicazioni industriali.

Recentemente, sono stati sviluppati e testati una serie di nuovi materiali da costruzione, i quali incorporano il sughero e cercano di migliorarne le caratteristiche e le prestazioni finali. Ad esempio, esiste un prototipo ad Arroyomolinos (Madrid), più nello specifico si tratta di un'abitazione unifamiliare di tre piani fuori terra. I muri perimetrali di 40 cm sono realizzati in "eco-calcestruzzo" con un impasto composto da terre locali, sughero granulato, cemento e acqua, il tutto compattato con un vibratore per il calcestruzzo. Di questa combinazione si trovano diversi studi solo a livello sperimentale, i quali incorporano terra-cemento-sughero in percentuali diverse. Tutti gli studi utilizzano sughero granulato espanso e impiegano il cemento per la stabilizzazione del prodotto.

Le percentuali di sughero incorporate sono di 0%, 10%, 15%, 20% e 25% e indicano come all'aumentare della percentuale di sughero, la resistenza meccanica diminuisce di poco, sempre entro i limiti della normativa. Al contrario, all'aumentare della percentuale di sughero, migliorano le prestazioni termiche del manufatto. I risultati di questi studi possono essere rivalutati in ottica di applicazioni reali. Un altro caso significativo che deve essere citato è lo studio "*Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products*" di Marques, Tadeu, Antonio, Julieta & Almeida, João & Brito, Jorge del 2019 nel quale vengono sperimentati nuovi materiali composti da lolla di riso e granuli di sughero espanso.

TITOLO: Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products

Autori: Marques, B., Tadeu, A., Antonio, J., Almeida, J., Brito, J.

Rivista: Construction and Building Materials

Anno di pubblicazione: 2019

Contenuti e metodologia

Questo studio presenta compositi innovativi a partire dai sottoprodotti del sughero espanso e la lolla di riso, i quali sono stati prima di tutto studiati separatamente.

Materiali analizzati

- Sughero espanso
- Lolla di riso

Risultati

Le diverse combinazioni di lolla di riso e sughero attribuiscono al materiale proprietà e caratteristiche diverse. Per un'analisi completa sono state selezionate alcune miscele e valutati dei sistemi costruttivi che possono essere impiegati negli edifici.

Questi due materiali sono stati prima studiati singolarmente per valutarne e accertarne le caratteristiche. Infine, sono stati miscelati insieme con diverse formulazioni e diverse proprietà. Gli esiti della sperimentazione provano che le miscele con maggiore percentuale di lolla di riso migliorano le prestazioni acustiche e, al contrario, con un maggior contenuto di granulato di sughero espanso si riduce la conduttività termica e migliorano le caratteristiche meccaniche. Questo composito può essere dunque utilizzato per la composizione di nuove strutture, partecipando a tutti gli effetti al risparmio energetico di un edificio.

Per concludere, la circolarità dei processi lavorativi del sughero è uno degli aspetti più interessanti che sono emersi da questa ricerca. Il sughero si è evoluto a partire dai classici prodotti che da esso derivano, fino ad arrivare ai prodotti più performanti destinati ai settori dell'industria ad alta tecnologia. Questo progresso è stato possibile solo grazie allo sviluppo di tecnologie all'avanguardia, con l'obiettivo finale di massimizzare le potenzialità del materiale.

A seguito dei primi studi condotti da Hooke, il sughero è stato oggetto di diverse indagini secondo aspetti differenti come ad esempio quello meccanico, chimico, fisico e altri. Le sue proprietà intrinseche sono alla base di nuovi campi di sperimentazione come i compositi in cui può essere incorporato. Quest'ultimi sono, infatti, uno dei campi più promettenti per lo sviluppo tecnologico del sughero.

3.3 Catalogazione dei materiali e ricerca sul mercato

Il terzo step relativo la racconta dati consiste nel mappare e catalogare tutti i prodotti a base sughero attualmente presenti sul mercato. Per questa fase è stato essenziale la lettura degli studi "Cork for sustainable product design" di Ana Mestre e Luis Gil del 2011, e "Cork composites: A review" di Luis Gil del 2009 che hanno rappresentato un punto di partenza e di informazione al quale aggiungere tramite una ricerca online tutti i prodotti immessi sul mercato a seguito al 2011. Oltre ai prodotti in commercio, devono essere esaminati anche

TITOLO: Cork for sustainable product design

Autori: Mestre, A., Gil, L.

Rivista: Ciência & Tecnologia dos Materiais

Anno di pubblicazione: 2011

Immagini significative:

Contenuti e metodologia

Oggi giorno, la versatilità del sughero è uno dei temi più sviluppati e studiati dai ricercatori del settore. Per questa ragione è importante conoscere e comprendere i materiali in sughero disponibili sul mercato, quali sono le sue potenzialità e tutti i processi sociali, ambientali ed economici. Infine, lo studio si focalizza sulle applicazioni attuali del sughero e quali, in un futuro prossimo, possono essere le soluzioni non ancora proposte.

Materiali analizzati - Sughero

Risultati

Lo studio analizza tutti gli aspetti positivi e negativi del sughero, quali sono i suoi limiti e le sue potenzialità. L'industria più generica del sughero può essere consolidata solo se i nuovi prodotti proposti sono mirati e differenziati e, se esiste una stretta collaborazione fra industria e polo scientifico.

TITOLO: Cork Composites: a review

Autori: Gil L.

Rivista: Materilas

Anno di pubblicazione: 2009

Immagini significative:



Contenuti e metodologia

Lo studio analizza tutti i compositi e i sottoprodotti del sughero, i leganti (naturali o artificiali) utilizzati per i compositi e i recenti sviluppi.

Materiali analizzati - Sughero: compositi e sottoprodotti

Risultati

Indagine approfondita sui compositi in sughero in commercio. I compositi sono i prodotti più promettenti in questo campo e derivano da un'accurata ricerca e sviluppo del materiale.

i brevetti, in quanto essi vengono difficilmente introdotti sul mercato poiché le aziende mostrano una certa riluttanza a renderli oggetto di investimento. Nella categoria brevetti sono inseriti anche studi di tipo sperimentale. Le prime sperimentazioni avvennero in Portogallo negli anni '70 (Mestre, Gil, 2011) ma rimasero tali in quanto proposte da designer o piccole aziende. Tutti i prodotti brevettati a partire da questi anni dimostrano che il sughero avrebbe grandi potenzialità di innovazione se fossero approfonditi processi produttivi tecnologici più avanzati, facendo ottenere al prodotto una buona posizione di mercato. La concretizzazione dei brevetti trova degli ostacoli da parte delle aziende che operano su mercati in cui esistono già prodotti alternativi a prezzi competitivi e dall'assenza di conoscenza sulla produzione del prodotto. Questa fase della ricerca può essere considerata come una revisione e descrizione delle applicazioni in sughero, oggi ritenute il campo più promettente per il suo sviluppo. I prodotti selezionati sono 25 e vengono catalogati come riportato di seguito:

CATALOGAZIONE MATERIALI A BASE SUGHERO:

Prodotti	In commercio	Brevetti
1. Sughero naturale	●	
2. Granulato	●	
3. Agglomerato Nero/puro/espanso (antivibrante, termico, acustico)	●	
4. Rigranula	●	
5. Composito di agglomerato con gomma	●	
6. Compositi di polimeri di sughero (CPC) (Sided)	●	
7. Sandwich di agglomerato nero e fibre naturali o sintetiche	●	
8. Sandwich di agglomerato con fogli laminati di MDF, legno, alluminio o altri	●	
9. Cork gel – Composito di silicone con sughero naturale granulato	●	
10. Tessuto e carta di sughero	●	
11. Polvere di sughero	●	
12. Intonaco termo isolante: miscela di sughero, argilla, polveri diatoniche e calce idraulica	●	
13. Parquet e pavimenti in sughero	●	
14. Sugo Cork Rugs	●	
15. Bio Tris portante (mattone portante con isolamento in sughero)	●	
16. Corkwall (Emulsione di sughero, resine polimeriche e acqua)	●	
17. Calce e sughero	●	
18. Agglomerato composito con rifiuti di cartone tetrapak		●
19. Plastica rinforzata con fibre di sughero		●
20. Sandwich di agglomerato con fibre di carbonio		●
21. Suberskin (farina di sughero e pellicola silverteck caffè)		●
22. Ecoceramica a base sughero		●
23. Lana di sughero		●
24. Blocchi in terra cruda, cemento e granuli di sughero espanso		●
25. Lolla di riso e granuli di sughero espansi		●

Tabella 3.2: Catalogazione materiali a base sughero. Prodotti in commerci e brevetti.

Come possiamo osservare [Tabella 3.2] i prodotti in commercio rappresentano la maggior parte delle applicazioni in sughero, mentre i brevetti sono una minoranza rispetto al totale.

C In commercio

B Brevetto

Date le innumerevoli proprietà intrinseche, grazie alle quali il sughero viene impiegato per prodotti e applicazioni innovative di straordinario interesse, i prodotti di questa filiera sono suddivisi in quattro macrosettori:

 Edilizia

 Design

 Biomedica

 Cantieristica

Settori:				
Edilizia	Design	Biomedica	Macchine/aeronautica/navali	
1 15	1	6	5	22
2 16	6	11	9	
3 17	8		11	
4 18	10		18	
7 21	14		19	
12 24	23		20	
13 25				

Tabella 3.3: Catalogazione per settori di applicazione

Ed infine, un'ultima catalogazione che registra i materiali secondo il criterio della composizione del prodotto e ne definisce applicazioni e differenti modalità di posa in opera. Si dividono ancora in:

 Granulati

 Pannelli

 Compositi

A Altro..

Catalogazione per :				
Granulati	Pannelli	Compositi		Altro..
2	1	5	16	10
4	3	6	17	11
	5	7	18	13
	7	8	19	14
	8	9	20	23
	13	12	21	
	20	15	22	
			24	
			25	

Tabella 3.4: Catalogazione per la composizione del prodotto

La seconda catalogazione [Tabella 3.3] mette in evidenza un forte impiego in edilizia e nel design. Numerose applicazioni anche nel campo della cantieristica che comprende il comparto aeronautico e aerospaziale, e solo due applicazioni nel campo della biomedica ancora poco conosciute. La terza ed ultima classificazione [Tabella 3.4] mostra, ancora una volta, la volontà di voler combinare il sughero con altri materiali. Contiamo 16 prodotti compositi, i quali, in alcuni casi, sono sia compositi che pannelli, e più nello specifico sono chiamati "sandwich".

3.3.1 Portfolio materiali a base sughero

L'impiego dei materiali a base sughero è strettamente correlato al materiale grezzo e alle lavorazioni che subisce durante il processo produttivo, le quali determinano caratteristiche e proprietà del materiale semilavorato. Per questa ragione, è importante specificare i materiali, riportati nelle precedenti tabelle, secondo quanto indicato nel seguente grafico [Grafico 3.1]. Quest'ultima classificazione sarà fondamentale per la stesura delle schedature.

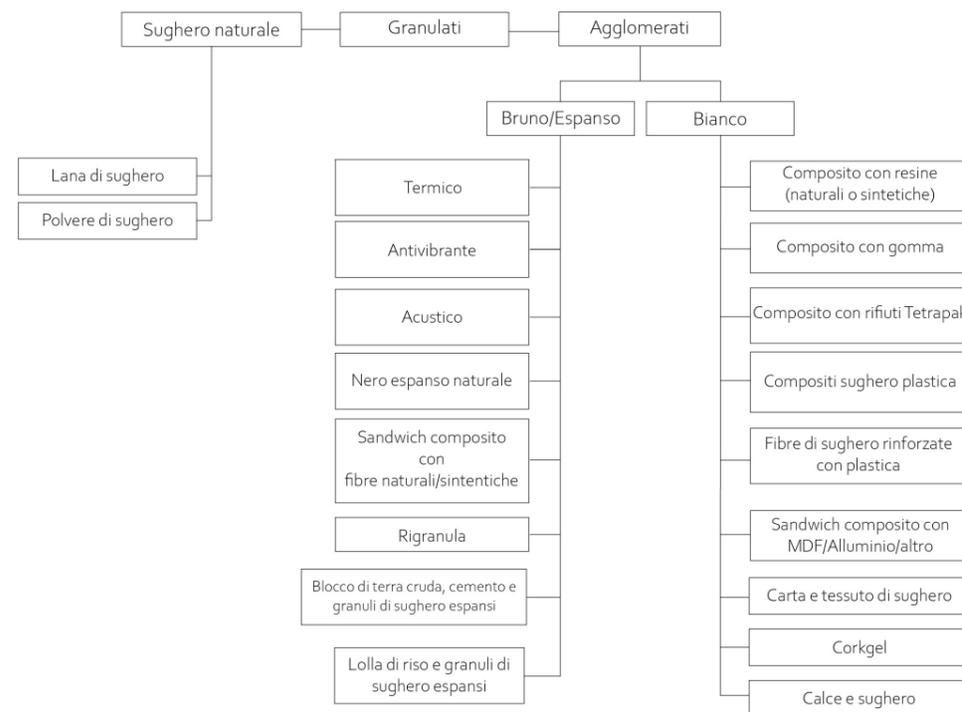


Grafico 3.1: Portfolio materiali a base sughero

3.3.2 Le schede dei materiali

Ogni scheda [Figura 3.1] contiene le tre icone che indicano le tre catalogazioni prima trattate. La suddivisione in "gruppi" intende facilitare la comprensione, in modo da ragionare sugli elementi proposti con una maggiore capacità critica. Inoltre, ogni scheda contiene il nome e l'eventuale nome commerciale del prodotto, una descrizione del prodotto, un flow chart del ciclo produttivo che

ci racconta in quale punto della produzione si ottiene, le applicazioni, i formati e la composizione che varia in base alla categoria assegnata, le caratteristiche tecniche (o eventuali altre caratteristiche senza valori dimensionali), modalità di posa in opera (per quanto riguarda l'edilizia), prezzo di vendita (per i prodotti in commercio), caratteristiche ambientali e in ultimo le certificazioni del prodotto.

NOME PRODOTTO
Nome commerciale - Azienda (fonte)

DESCRIZIONE e PRODUZIONE

Ciclo produttivo

Applicazioni

Formati e composizione
Per granulati : Granulometria e confezione
Per Pannelli : dimensioni e spessori
Per compositi: %sughero e %altro...
Altro

Caratteristiche tecniche		
Densità	Kg/m ³	
Conducibilità termica	W/m ² K	
Resistenza alla diff. del vapore	μ	
Calore specifico	J/kg K	
Resistenza a flessione	MPa	
Resistenza a compressione	MPa	
Resistenza a trazione	MPa	
Resistenza al fuoco	CLASSE	

Modalità di posa in opera

Prezzo di vendita

Caratteristiche ambientali Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

Figura 3.1 Fac Simile delle schede

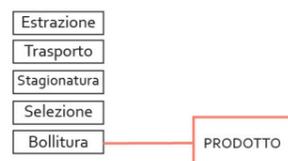
Di seguito riportate le schede dei materiali:

SUGHERO NATURALE



Le plance di sughero dopo che sono state estratte dalla quercia da sughero, sono ordinate per qualità e spessore per diversi usi industriali, vengono bollite e utilizzate per diverse applicazioni, la più nota il tappo da sughero.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Tappi
- Agglomerati
- Dischi
- Pesca

Formati e composizione

- Dipende dalle dimensioni del tronco

Altre caratteristiche

- Morbido
- Elastico
- Versatile

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

Dipende dalla qualità stimata al momento dell'estrazione

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

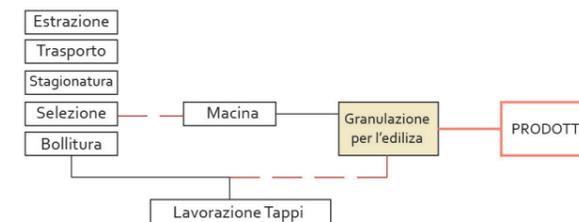


GRANULATO

SugheroLite - Coverd www.coverd.it



Ciclo produttivo



Applicazioni

- Isolamento termico di pareti perimetrali, sottotetti, sottofondi, coperture.
- Insufflaggio nell'intercapedine

Formati e composizione

Granulometria : Costante 4 mm
Media 4/8 mm
Confezione da 143 l

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	70 - 100
Conducibilità termica	W/m ^{°K}	0.043 - 0.045
Resistenza alla diff. del vapore	μ	-
Calore specifico	J/kg K	2,1

Modalità di posa in opera

- Posa a secco
- Impastata con legante KoGlass o leganti idraulici

Prezzo di vendita

1 sacco = 19,35 € 1mc = 3 sacchi 1mc = 193,50 €

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

Il sughero biondo naturale non è soggetto ad obbligo di marcatura CE per materiali edili in quanto ad oggi non è ancora in vigore alcuna norma tecnica di prodotto armonizzata.



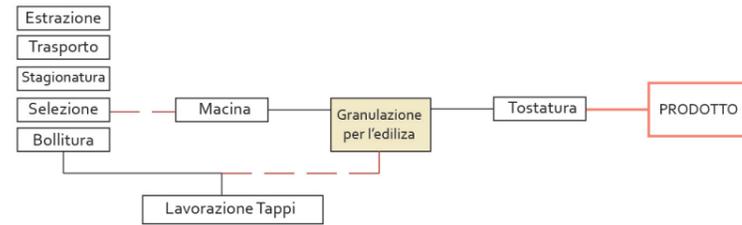
AGGLOMERATO NERO

Corkpan - Tecnosugheri www.tecnosugheri.it



CORKPAN è un pannello in sughero totalmente naturale perchè ottenuto tramite processo termico, senza aggiunta di alcun tipo di collante. Il processo termico di espansione permette la fusione delle resine naturalmente contenute nella corteccia, che agiscono da collante naturale per aggregare i granuli e formare il pannello. La tostatura non altera le caratteristiche del sughero, anzi le migliora, in quanto permette al granulo di espandersi, migliorandone le caratteristiche di coibenza. La colorazione bruna del prodotto non è dovuta ad una alterazione del sughero ma solo alla sua tostatura.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Cappotti interni con rasatura
- Isolamento dall'interno
- Facciate ventilate
- Sottomassetto
- Solai, sottotetti e coperture piane, tetti verdi e coperture a falde
- Intercapedini
- Isolamento antivibrante

Formati e composizione

Pannelli Dimensioni 100x50 cm
Spessori da 10 a 320 mm

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	110
Conducibilità termica	W/m°K	0,039
Resistenza alla diff. del vapore	μ	20
Calore specifico	J/kg K	1900
Resistenza a flessione	MPa	0,13
Resistenza a compressione	MPa	0,1
Resistenza a trazione	MPa	0,05
Resistenza al fuoco	CLASSE	E

Modalità di posa in opera

Stesura di un collante sui cordoli del pannello e in alcuni punti centrali, esercitare pressione posizionando i pannelli sfalsati fra di loro.

Prezzo di vendita

Da 10,30 €/mq a 130,20 €/mq

Caratteristiche ambientali

■ Biodegradabile ■ Rigenerabile ■ Riciclato

Certificazioni



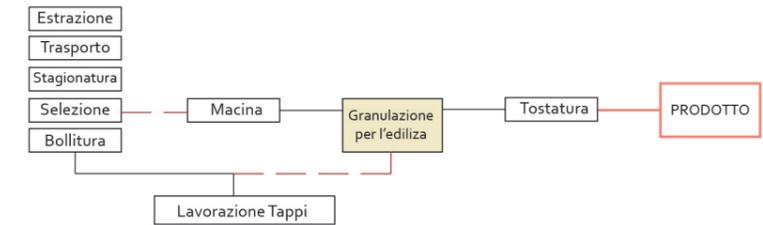
RIGRANULA

Corkgran tostato - Tecnosugheri www.tecnosugheri.it/



Il granulato di sughero CORKGRAN TOSTATO è ottenuto dalla macinazione dello sfrido di lavorazione del pannello Corkpan ed è l'unico a vantare la Marcatura CE (ETA 17/389).

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Intercapedini
- Massetti alleggeriti
- Sottotetto non abitabile

Formati e composizione

Granulometria 3/5 - 3/15 mm
Confezione in sacchi da litri 125 (8 sacchi = 1 m³ c.a.)

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	70
Conducibilità termica	W/m°K	0,041
Resistenza alla diff. del vapore	μ	2,89
Calore specifico	J/kg K	1900
Potere isolante	dB	54
Resistenza al fuoco	CLASSE	E

Modalità di posa in opera

- Insufflaggio per intercapedini
- Sfuso nei sottotetti
- Impastato con vestrificante
- Impastato con cemento

Prezzo di vendita

3 mc = 1 sacco da 125l = 245 €

Caratteristiche ambientali

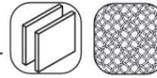
■ Biodegradabile ■ Rigenerabile ■ Riciclato

Certificazioni



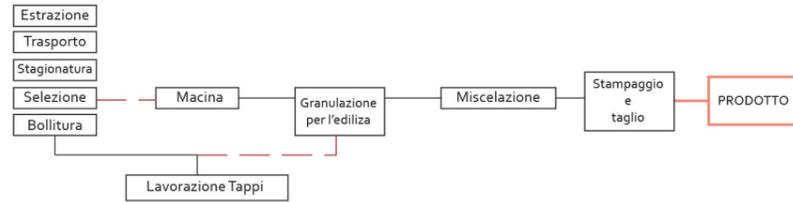
COMPOSITO DI AGGLOMERATO CON GOMMA

Sughero gomma - Amorim Cork Composites amorimcorkcomposites.com



I pannelli di sughero e gomma sono prodotti su base di granulato di sughero e diversi tipi di miscele in gomma NBR, SBR, EPDM, EVA, neoprene, ACM, silicone o poliuretano. In base alle esigenze, le miscele sono modificate in modo da ottenere un prodotto con parametri tecnici ottimali e di resistenza per un impiego definito.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Produzione di guarnizioni di macchinari
- Impianti
- Veicoli

Formati e composizione

Per pannelli : formato 1000x1000mm di spessore da 1,8 a 10mm

- % sughero
- % gomma

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	800
---------	-------------------	-----

Altre caratteristiche

- Elastico
- Resistente ad agenti esterni chimici

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

Da 5,75 €/pz a 50,63 €/pz

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

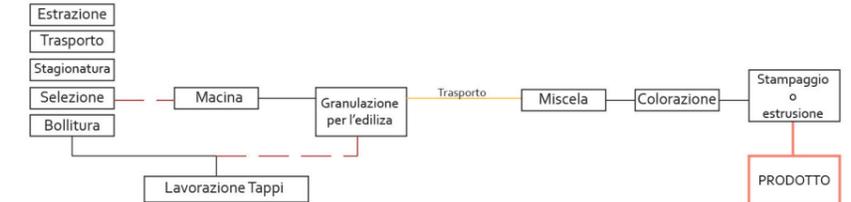
COMPOSITI DI POLIMERI DI SUGHERO (CPC)

PVC sughero - Sidef www.sidef.com



Il PVC sughero ha nella bassa densità la sua caratteristica peculiare e vanta una flessibilità d'impegno particolarmente interessante per tutti i settori della calzatura. Il PVC con sughero è un prodotto espanso additivato con granina di sughero. Il materiale può essere lavorato come un normale PVC espanso e per il suo utilizzo non richiede specifici accorgimenti nella fase di stampaggio. Il prodotto ha caratteristiche unificate in quanto a durezza e colore.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Calzature
- Accessori sanitari

Formati e composizione

- % granuli di sughero
- % resine sintetiche

Caratteristiche tecniche

Peso specifico	N/m ³	0,8
----------------	------------------	-----

Altre caratteristiche

- Leggero

Modalità di posa in opera

Stampaggio e estrusione

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

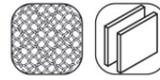
-

SANDWICH DI AGGLOMERATO NERO E FIBRE NATURALI

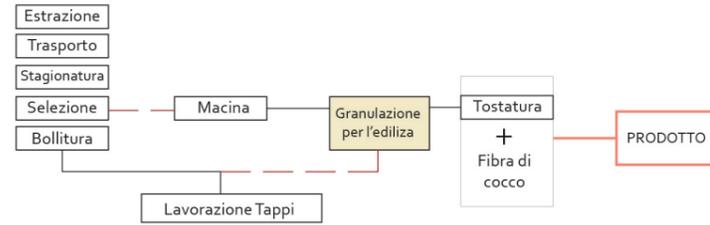
CorkCoco - Tecnosugheri www.tecnosugheri.it



Il pannello Corkcoco è realizzato tramite accoppiamento di sughero espanso CorkPan e fibra di cocco. L'impiego del pannello Corkcoco è ideale come materiale fonoisolante da utilizzare principalmente in intercapedine.



Ciclo produttivo



Applicazioni

- Isolamento acustico pareti divisorie

Formati e composizione

Pannelli Dimensioni 100x50 cm
Spessori 40 mm | 20mm sughero Corkpan+ 20mm fibra di cocco

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	110 + 85
Conducibilità termica	W/m ^{°K}	0,039 + 0,043

Modalità di posa in opera

Stesura di un collante sui cordoli del pannello e in alcuni punti centrali, esercitare pressione posizionando i pannelli sfalsati fra di loro.

Prezzo di vendita

41,50 €/mq

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

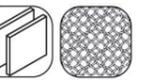


SANDWICH DI AGGLOMERATO CON FOGLI LAMINATI DI MDF o ALTRI

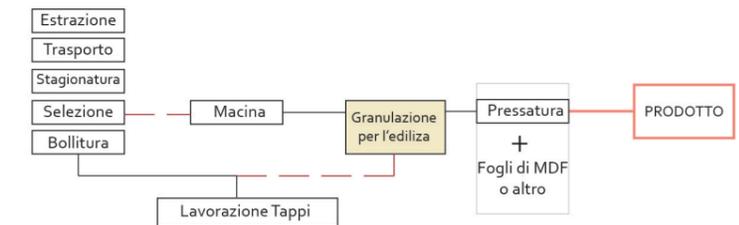
Pannelli in sughero - Isolstyle www.isolstyle.com



Pannelli sandwich personalizzabili con anima isolante in sughero. Le dimensioni ed il peso del pannello finito possono variare in funzione dello spessore dell'anima e dei rivestimenti impiegati: laminato HPL, lamiere, compensato, ecc.



Ciclo produttivo



Applicazioni

Pannelli isolanti per pareti e soffitti.

Formati e composizione

Spessore > 10 mm

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	210
---------	-------------------	-----

Altre caratteristiche

- Impermeabile
- Naturale
- Inodore
- Atossico
- Antistatico

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

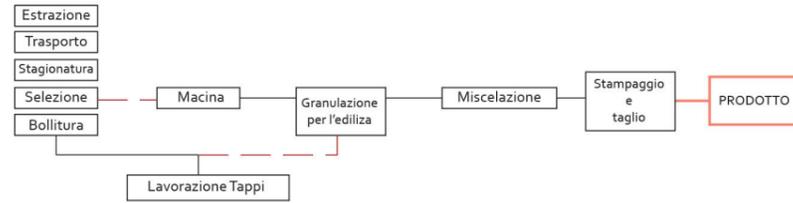
COMPOSITO DI SILICONE CON SUGHERO GRANULATO

Corkgel - Cinelli <https://cinelli.it/it/>



Nasce dall'unione del sughero granulato e il silicone che vengono stampati secondo le dimensioni desiderate.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Guarnizioni

Formati e composizione

% Sughero
% Silicone

Altre caratteristiche

- Elastico
- Resistente agli agenti esterni

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

15 €

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-



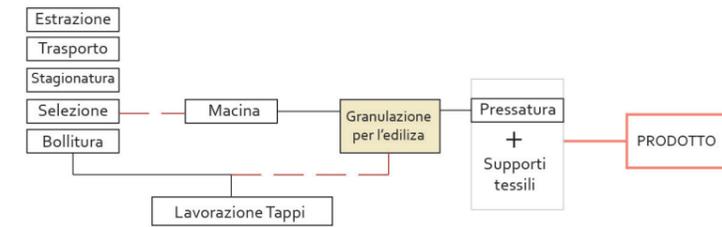
TESSUTO E CARTA DI SUGHERO

Nome commerciale - Azienda (fonte)



Grazie alle moderne tecnologie il sughero può essere trasformato in fogli sottilissimi e, in base alle varie esigenze, accoppiato con dei supporti tessili. In modo da ottenere un prodotto estremamente versatile, flessibile, morbido e resistente. Il risultato è un tessuto naturale ed ecologico utilizzabile per le medesime applicazioni della pelle o del tessuto, disponibile in una gamma di bellissime finiture.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Calzature, tende, tappezzerie, borse, portafogli, accessori

Formati e composizione

Spessore: 0,9 - 1 mm

Peso: 350-380 grammi/mq

Altre caratteristiche

- Naturale
- Traspirante
- Antibatterico
- Antiallergico
- Leggero
- Pratico
- Lavabile
- Antigraffio
- Antiscivolo
- Antimacchia
- Impermeabile
- Termoisolante
- Resistente all'usura

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

Per 1 mq --> 38,92 €
Per 10 mq --> 389,18 €

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-



POLVERE DI SUGHERO



Il residuo derivato dall'industria trasformazione del sughero, una serie di composti chimici può essere ottenuto da esso per diversi scopi e applicazioni, in particolare per scopi medici o come energia fonte.



Ciclo produttivo



Applicazioni

- Fonte di energia
- Scopi medici
- Oggettistica

Formati e composizione

Granulometria 0-1mm o 0-2 mm in sacchi da 10 l

Altre caratteristiche

- Leggero
- Sostenibile

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

1 sacco da 10 l = 11,90€

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

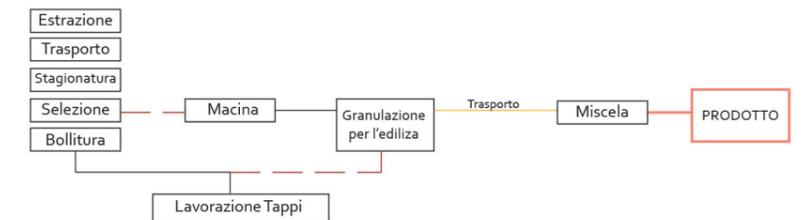
MISCELA DI SUGHERO, ARGILLA, POLVERI DIATONICHE E CALCE IDRAULICA

Diathonite Evoluton - Diasen www.diasen.com



Intonaco premiscelato fibrinforzato con sughero, argilla, polveri diatomeiche e calce idraulica naturale. Composto naturale, pronto all'uso per la realizzazione di rivestimenti termici a cappotto e deumidificazioni per interni ed esterni. È un prodotto che sintetizza le caratteristiche di isolamento dal freddo del sughero con quelle di isolamento dal caldo della pietra. Le porosità e la calce presenti all'interno dell'intonaco lo rendono batteriostatico e antimuffa.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Coibentazioni termiche e deumidificazioni

Formati e composizione

Granulometria sughero 0-3 mm

Spessore minimo 1,5 cm

Spessore massimo per strato 2,5 cm

Acqua d'imposto 0,60 - 0,80 l/kg

11 - 14 l per ogni sacco di 18 kg

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	360
Conducibilità termica	W/m°K	0,045
Resistenza alla diff. del vapore	μ	4
Calore specifico	J/kg K	1000
Resistenza a flessione	MPa	1,5
Resistenza a compressione	MPa	2,7

Altre caratteristiche

- Traspirante
- Antimuffa

Modalità di posa in opera

- Preparazione del supporto (dipende dal materiale)
- Applicazione a mano o con macchina intonacatrice
- Tempi di asciugatura 10-15 giorni

Prezzo di vendita

1 Sacco da 18 kg = 59,50 €

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni



PAVIMENTI E PARQUET IN SUGHERO

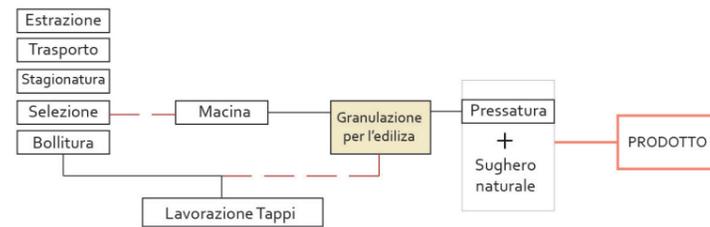
Divina Cork Floor- Biosughero <https://biosughero.it/it/>



Tessitura omogenea ottenuta da granuli e parti di sughero naturale di dimensione varia e con tonalità più chiara unita a piccole note di colore nero inserite all'interno della trama beige-marrone chiaro.



Ciclo produttivo



Applicazioni

- Pavimenti

Formati e composizione

Pannelli Dimensioni da 30x30 cm a 91,50 cm
Spessore da 4 mm a 10,5 mm

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	700
Conducibilità termica	W/m ² K	0,100

Altre caratteristiche

- Durevole
- Igienico
- Antibatterico
- Anallergico
- Resistente agli urti, ai graffi e all'usura

Modalità di posa in opera

- Posa flottante senza colla
- A colla

Prezzo di vendita

- Da 16,50€ a 48,42€

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

TAPPETI IN SUGHERO

Sugo Cork Rugs - sugocorkrugs.com



I tappeti in sughero dal design contemporaneo, annodati con le tecniche tradizionali di tessitura. Un progetto supportato da Amorim, azienda portoghese leader internazionale nella produzione di tappi in sughero. La collezione di Sugo Cork Rugs è caratterizzata da pattern geometrici.



Ciclo produttivo



Applicazioni

-

Formati e composizione

Tessuto di sughero, lana e cotone portoghese

Altre caratteristiche

- Leggero
- Impermeabile a gas, liquidi e umidità
- Flessibile
- Resistente al fuoco

Modalità di posa in opera

Tessitura

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

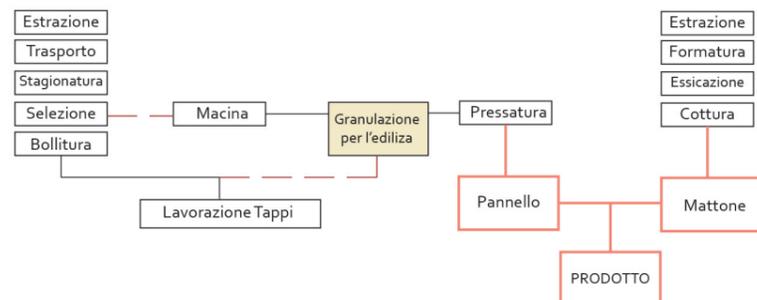
MATTONI PORTANTI CHE ISOLAMENTO IN SUGHERO

Bio Tris portante - T2d abitare meglio <https://t2d.it/>



Blocco portante antisismico realizzato con monoblocchi a doppia parete con interposto isolante in sughero da 8 cm.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Murature portanti in zone sismiche

Formati e composizione

Dimensioni (S x L x H) 46 x 25 x 19

Caratteristiche tecniche

Densità	Kg/m ³	880
Conducibilità termica	W/m ² K	0,113
Resistenza alla diff. del vapore	μ	10
Calore specifico	J/kg K	1000
Trasmittanza termica	W/m ² K	0,248
Sfasamento	h	21,48
Fattore di attenuazione	-	0,031

Modalità di posa in opera

Il monoblocco è fornito già assemblato con sistema di aggancio meccanico chimico.

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni



EMULSIONE DI SUGHERO, RESINE POLIMERICHE E ACQUA

Corkwall - Amorim



Il materiale di base del Corkwall è composto da cinque resine acriliche, sughero granulato e acqua.

Ciclo produttivo



Applicazioni

Finitura e restauro di facciate esterne, pareti interne e tetti

Formati e composizione

Sughero 10 %
 Diossido di titanio 5%
 Carbonato di calcio 4%
 Polifosfato di ammonio 1%
 Polimero acrilico 54%
 Alcol polivinilico 1%
 Acqua 25%

Altre caratteristiche

- Resistente al fuoco
 - Traspirante
 - Decorativo
 - Lavabile

Modalità di posa in opera

-

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-



CALCE E SUGHERO

Cork Shield- Sace Components www.sacecomponents.com/insulation

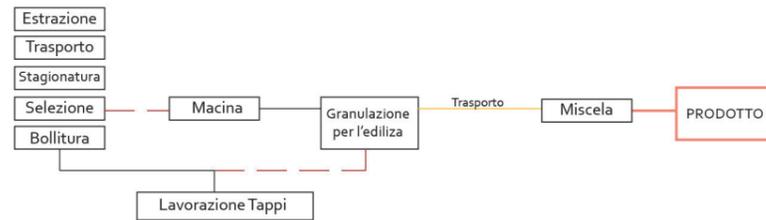


Cork Shield è un termo intonaco costituito da una miscela di sughero in grani e di calce idraulica naturale conforme alla normativa. La calce idraulica utilizzata è l'unico legante presente all'interno della miscela. Questo prodotto è utilizzabile per interni ed esterni.

C



Ciclo produttivo



Applicazioni

- Malta per isolamento termico da 2 a 15 cm

Formati e composizione

Granulometria sughero 0-3 mm
Acqua d'impasto = 3,3 o 3,4 kg/mq per 1cm di spessore

Caratteristiche tecniche

Conducibilità termica	W/m°K	0.063 / 0.005
Resistenza alla diff. del vapore	μ	< 6
Calore specifico	J/kg K	1400
pH impasto	-	< 12, 5
Resistenza a compressione	MPa	1,07
Resistenza al fuoco	CLASSE	A1

Modalità di posa in opera

Può essere applicato su tutte le superfici orizzontali e verticali costituiti da forati portanti e leggeri, mattoni pieni, laterizio misto, pietrame e tufo.

Prezzo di vendita

-

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

Certificazioni

-

AGGLOMERATO COMPOSTO CON RIFIUTI DI CARTONE TETRAPAK

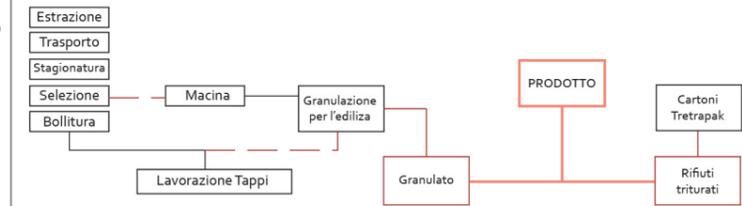
B



Descrizione

Composito agglomerato che include nella sua composizione una combinazione di fibre e particelle derivanti dalla triturazione di imballaggi Tetrapak®, opzionalmente inclusi altri materiali, preferibilmente senza l'aggiunta di leganti esterni, per compressione e riscaldamento. Questo processo può essere applicato anche su altri residui industriali.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Rivestimenti
- Isolamento antivibrante
- Pavimenti

Altre caratteristiche

- Versatile

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

PLASTICA RINFORZATA CON FIBRE DI SUGHERO

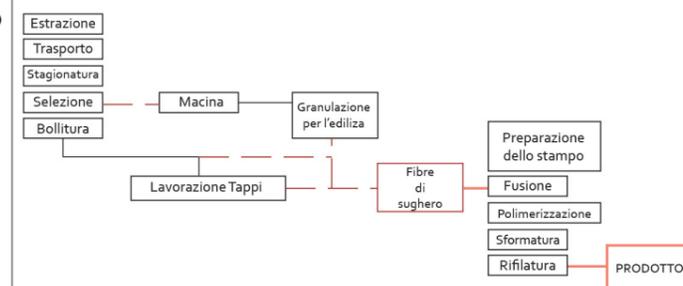
B



Descrizione

Plastica rinforzata con fibre di sughero.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Applicazioni industriali
- Treni
- Navi
- Autobus
- Aeronautica

Caratteristiche

-

Caratteristiche ambientali

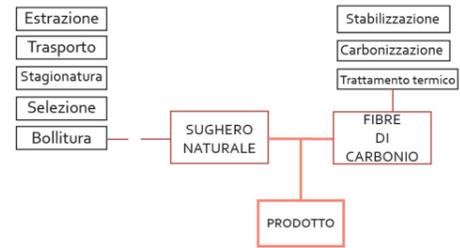
Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

SANDWICH DI AGGLOMERATO CON FIBRE DI CARBONIO

B

Descrizione E' stato condotto uno studio che mostra l'associazione di compositi in fibra di carbonio con sughero naturale in una struttura a sandwich.

Ciclo produttivo



Applicazioni

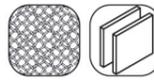
- Cabine di aeromobili
- Pale di turbine eoliche

Catteristiche

- Buoni prestazioni acustiche
- Leggero
- Resistente

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato



ECOCERAMICA A BASE SUGHERO

B

Descrizione Ecoceramica a base di sughero, sfrutta la struttura cellulare del sughero e la sua resistenza con vantaggi rispetto alla ceramica tradizionale.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Applicazioni come filtri e/o catalizzatori
- Applicazione come materiale termoisolante, schermatura e assorbente

Catteristiche

- Solido
- Leggero
- Poroso

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato

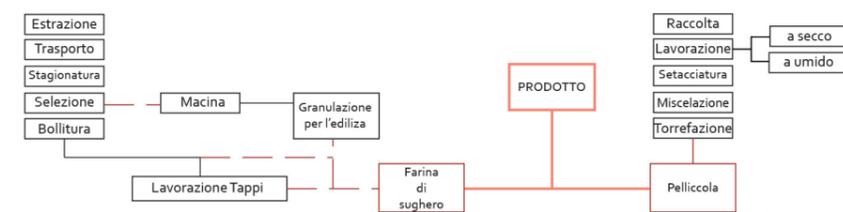


SUBERSKIN - Farina di sughero e farina di caffè

B

Descrizione E' un prodotto naturale: la farina di sughero è abbondantemente disponibile e facilmente rinnovabili, proviene da fonti gestite in modo sostenibile; la pellicola del caffè proviene dalla lavorazione dei chicchi. Processo di produzione efficiente: il processo di produzione richiede un ridotto consumo energetico, è minima la produzione di scorie e rifiuti (a loro volta riciclabili).

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Buon isolante acustico

Catteristiche

Densità	Kg/m	160 - 180
Conducibilità termica	W/m°K	0.036 - 0.037
Resistenza alla diff. del vapore	μ	20
Calore specifico	J/kg K	1600

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato



LANA DI SUGHERO

B

Descrizione La lana di sughero è uno scarto della filiera del sughero e può essere utilizzata per diversi scopi.

Ciclo produttivo



Applicazioni

- Imballaggio
- Riempimento di cuscini, materassi e divani

Altre caratteristiche

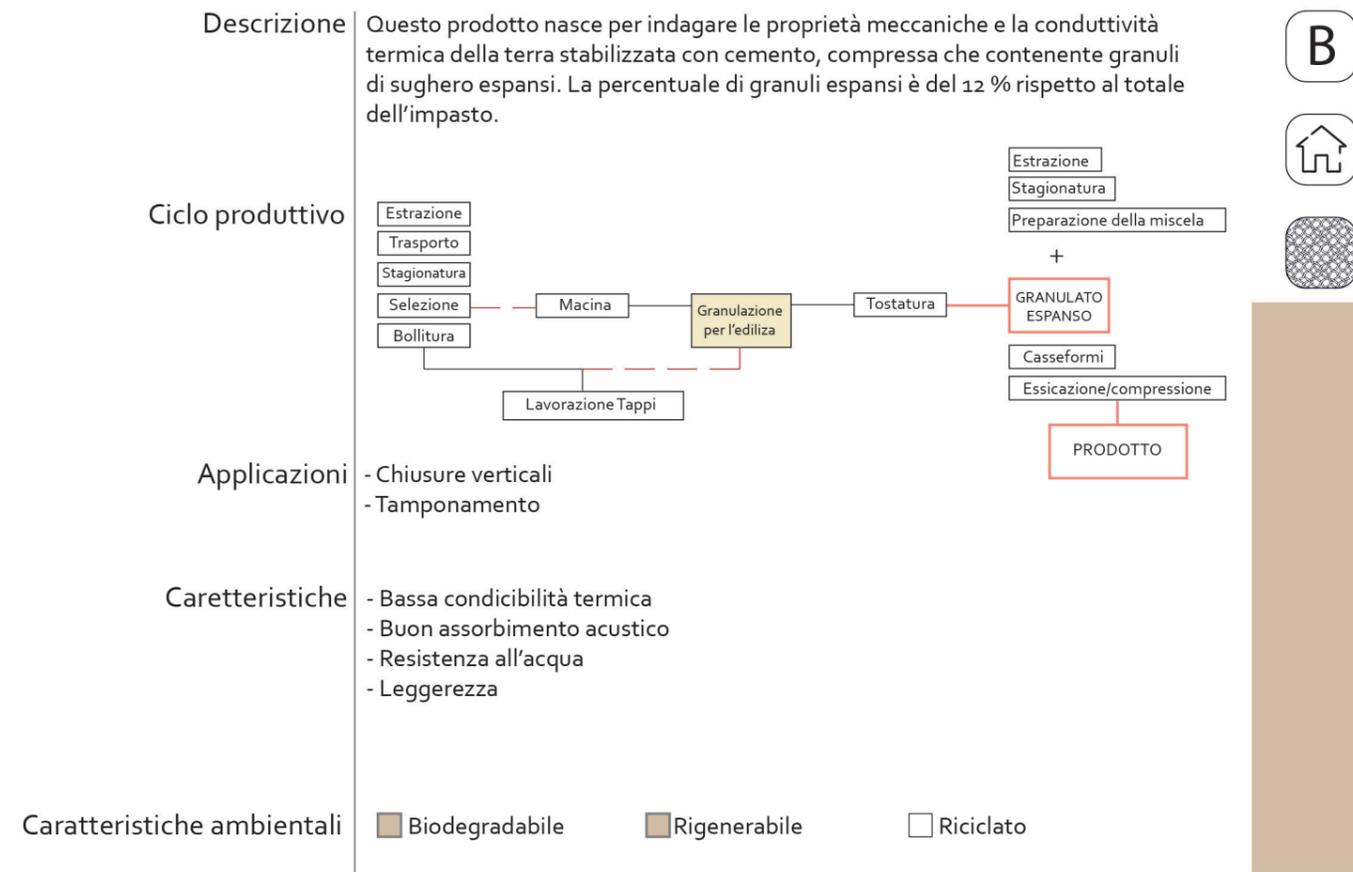
- Leggero
- Impermeabile
- Atossico
- Resistente

Caratteristiche ambientali

- Biodegradabile Rigenerabile Riciclato



BLOCCO IN TERRA CRUDA, CEMENTO E GRANULI DI SUGHERO ESPANSO

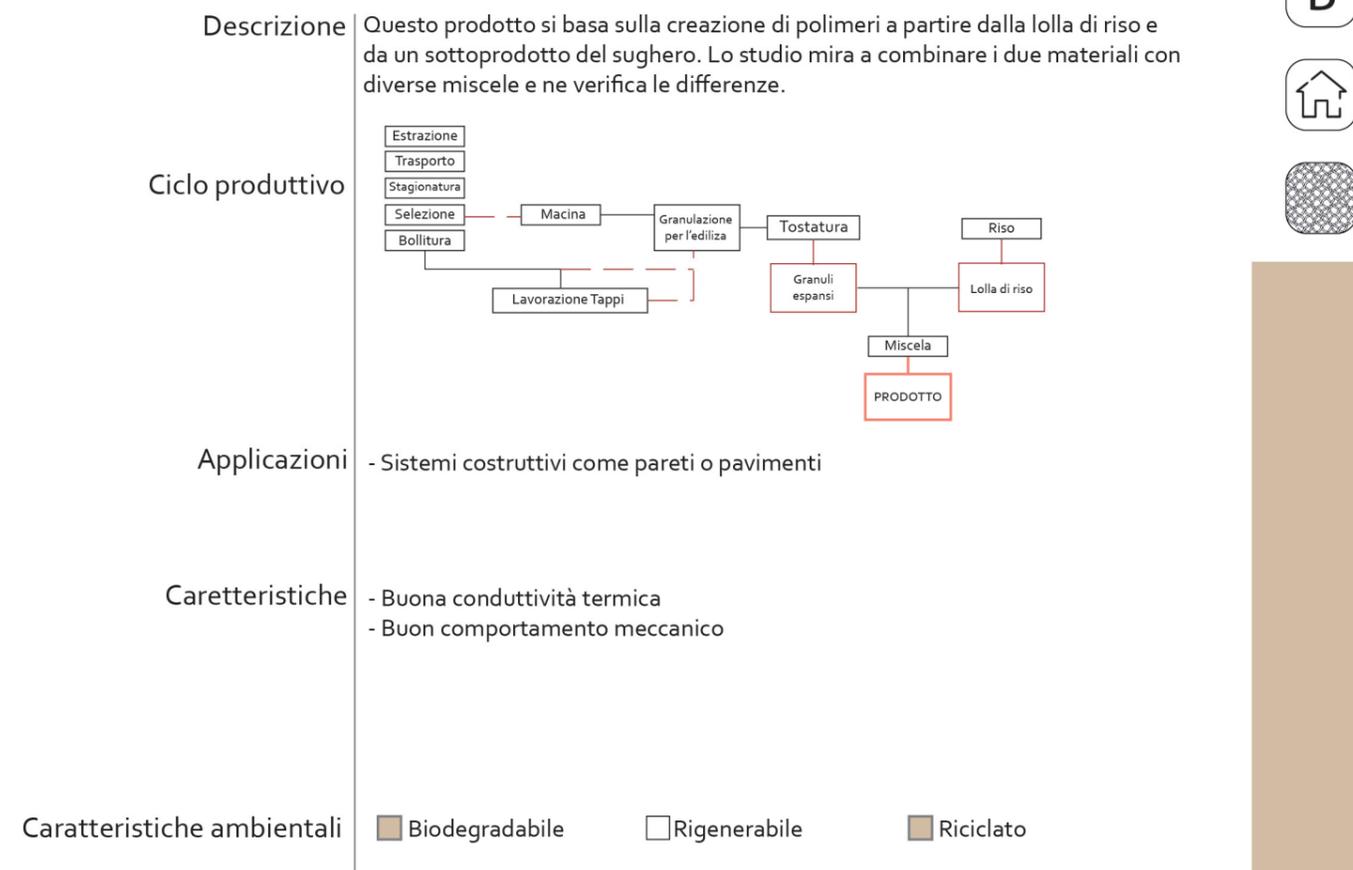


3.4 Riciclo

"Working with a material where waste does not exist, because it is fully recyclable, allow us to design freely and gives us the freedom to explore different geometries"
 Amanda Leveté, architect

Il riciclo è un modo per gestire i rifiuti e prevede il reinserimento del materiale nello stesso ciclo produttivo da cui proviene, per mezzo di trattamenti e lavorazioni che ne consentono la reintroduzione come "materia prima seconda", assicurando la medesima qualità delle materie prime. Dallo studio del ciclo produttivo del sughero emerge che tutti gli scarti sono reintrodotti e valorizzati nello stesso ciclo produttivo, rendendolo uno dei materiali emblematici dell'economia circolare. Un prodotto del sughero che può essere riciclato e recuperato è il tappo e, a tal proposito, sono state indette diverse iniziative di riciclo, soprattutto nei paesi in cui il sughero nasce e cresce.

LOLLA DI RISO E GRANULI DI SUGHERO ESPANSI



3.4.1 Iniziative internazionali

Per quanto riguarda contesto internazionale si possono contare una serie di progetti a partire dal Portogallo, il quale nel 2008 presenta "Green Cork", sviluppato da Quercus in collaborazione con Amorim e altri enti locali. Sono proprio gli enti locali, ovvero i supermercati e i centri commerciali, ad essere i punti di raccolta. I tappi vengono successivamente rimacinati, trasformati in granulato e utilizzati nuovamente come materia prima. Questo concetto si estende in altri paesi europei ed extra-europei, i quali sono [17]:

- Portogallo
- Spagna
- Francia
- Germania
- Belgio
- UK
- Stati Uniti d'America
- Australia

Di seguito una tabella che sintetizza tutti i progetti [Tabella 3.5]:

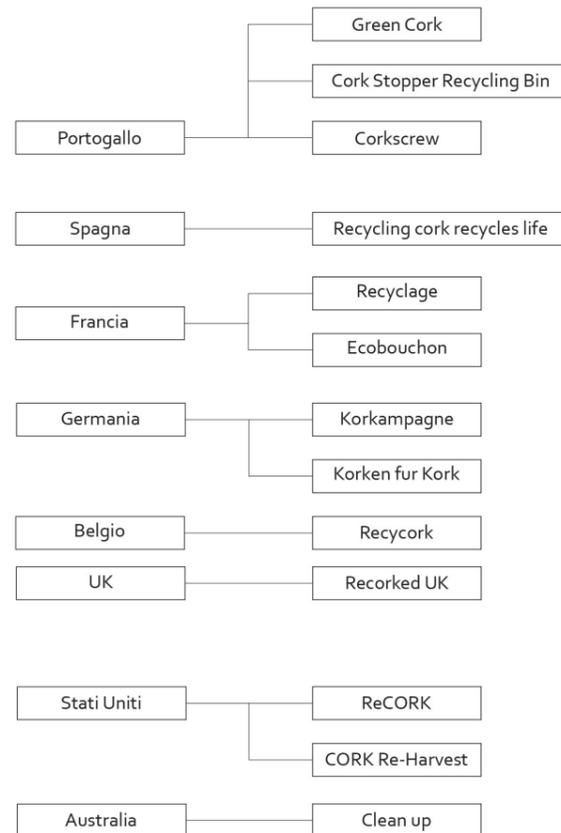


Tabella 3.5: Iniziative presenti in Europa e nel mondo



Figura 3.2: Iniziative di riciclo in Portogallo
Fonte: <http://www.greencork.org/o-projecto/>

Portogallo:

Green Cork _ L'iniziativa [Figura 3.2] comprende non solo supermercati e centri commerciali, ma anche comuni, aziende per la raccolta dei rifiuti, cantine e produttori di vino. Il loro slogan è "ciò che avviene in natura torna alla natura". L'obiettivo finale è di piantare nuove querce sul territorio grazie al ricavato dei tappi raccolti. Per esempio, nel 2016 sono stati piantati 476mila alberi, i quali contribuiscono all'ecosistema del Portogallo. Nel 2013 l'iniziativa è stata premiata dall'Unione Europea come uno dei progetti migliori contro il cambiamento climatico all'interno del concorso 'A world I love'. [18]

Cork Stopper Recycling Bin _ Questo progetto nasce nei comuni di São Brás de Alportel, in Algarve nel 2005, in occasione di una sfida lanciata ai suoi residenti, i quali hanno accettato di buon grado. All'interno delle due cittadine ed in punti strategici sono stati predisposti dei contenitori appositi per la raccolta. Lo scopo è di creare nuovi oggetti a partire da questi scarti ed educare la società al rispetto dell'ambiente, un tema oggi molto sentito.

Corkscrew _ Il progetto dedicato all'educazione ambientale nasce nel 2005 grazie all'associazione portoghese AGP. Attraverso il ricavo della raccolta, e del successivo riutilizzo, vengono sostenute le stesse istituzioni sociali che si occupano dell'iniziativa. In circa 11 anni sono stati raccolti 32 tonnellate e circa 8 miliardi di tappi. La partecipazione al progetto avviene tramite il contatto dell'associazione AGP, la quale si occupa della logistica e di tutti gli aspetti burocratici.

Spagna:

"Recycling cork recycles life" _ L'iniziativa nasce nel 2010, e propone di raccogliere i tappi di sughero che devono essere lavorati e trasformati manualmente da disabili. [19]

Francia:

Recyclage _ L'Association Française du Liège ha fondato questo programma per la raccolta di tappi di sughero nelle varie città francesi [Figura 3.3]. L'obiettivo è di avere una società sempre più ecologica, rivolta verso l'economia circolare, in un contesto di rimboscimento delle sugherete francesi. I tappi riciclati non possono essere più utilizzati per scopi alimentari, al contrario sono ottimi per l'isolamento termico e acustico in edilizia e per oggetti di design. A partire del 2010 sono stati raccolti 350 milioni di tappi in sughero, per un totale di 1.500 tonnellate di sughero. Il ricavato viene donato ai centri di raccolta che contribuiscono all'attuazione dell'iniziativa. [20]



Figura 3.3: Iniziative di riciclo in Francia
Fonte: <https://recyclage.plane-teliege.com/>

EcoBouchon _ La sede francese Amorim ha sviluppato questa idea, la quale ha avuto un grande successo, in quanto i punti di raccolta sono presenti in ben 40 regioni francesi, coinvolgendo di fatto l'intero paese. [21]

Germania:

Korkampagne _ Questo progetto deriva dall'associazione tedesca Nabu, la quale è nata nel 1994 e si occupa di raccogliere e riciclare i tappi in sughero. In Germania ogni anno vengono prodotti circa 1,2 miliardi di tappi, e l'associazione si occupa di recuperarli tutti e di trasformarli in granulato di sughero utile all'isolamento nella bio edilizia. I presupposti sono gli stessi di tutte le altre campagne, ovvero la salvaguardia dell'ambiente e la conservazione della natura, il tutto avvolto dalla cooperazione sociale. Fondamentale lo scopo educativo, attraverso il quale si crea occupazione a lunga durata per disabili e disoccupati. Nella nazione sono presenti più di 1.100 punti di raccolta, in particolare nella Germania del nord, dove la partecipazione risulta essere molto attiva. [22]

Korken für Kork _ In inglese "Cork for Cork" [Figura 3.4] nasce nel 1991 e ha come obiettivo la raccolta e il riciclo del sughero. Proposta di questa campagna è stata accolta molto bene infatti, l'ultimo conteggio riporta numeri incoraggianti con 1.100 metri cubi di tappi all'anno, corrispondente a 45 miliardi di tappi per bottiglie. Questo è stato possibile grazie ai 3.000 punti di raccolta sparsi per l'intero paese classificando il progetto per socialità ed ecologia. Anche in questo caso si è pensato di fornire lavoro a lunga durata alle persone portatrici di handicap, le quali trasformano il materiale raccolto in pannelli di sughero. [23]

Belgio:

Recycork _ L'associazione "Le Petit Liège" senza scopo di lucro iniziò il suo operato più di 15 anni fa. Altre associazioni, anche se più piccole, hanno intrapreso questa strada, formando una rete di grandi e piccoli centri che collaborano per un solo obiettivo.

Sfortunatamente Le Petit Liège ha dovuto interrompere quest'iniziativa e cedere all'impresa sociale "De Vlaspit" tutti i 900 box sul territorio. "Niente è perso, niente si crea, tutto si trasforma...". Nel caso del sughero può essere raccolto una sola volta (ogni dieci anni), quindi il sughero può essere solo riutilizzato evitando lo sfruttamento delle sugherete. [24]



Figura 3.5: Iniziativa di riciclo del Regno Unito
Fonte: <https://recorkeduk.org/>

UK:

Recorked UK _ È l'unico programma del Regno Unito che consente di riciclare i tappi in sughero [Figura 3.5]. In questo progetto collaborano tanti partner, fra i quali bar, hotel, ristoranti e commercianti di vino. Per ogni tappo raccolto viene donato un corrispettivo in denaro a enti di beneficenza. In questo modo si creano benefici per l'ambiente e opportunità di lavoro per i giovani del paese. [25]



Figura 3.6: Iniziativa di riciclo in America
Fonte: <https://recork.com/us/en>

Stati Uniti d'America:

ReCORK _ È il più grande programma per il riciclo di sughero nel nord America [Figura 3.6]. L'azienda Amorim e altri 3.000 partner collaborano per raccogliere i tappi in sughero utilizzati per l'imbottigliamento delle bottiglie di vino. Attraverso la raccolta dei tappi sono stati piantati circa 8.000 querce, le quali contribuiscono all'ambiente. Fino ad oggi sono stati riciclati circa 110 milioni di tappi. I processi di trasformazione e lavorazione dei tappi sono controllati al fine di ottimizzare e rendere ancora più efficiente la filiera del sughero. [26]

CORK Re-Harvest _ Questa associazione è stata fondata nel 2008 e ha lo scopo di sensibilizzare la popolazione attraverso la protezione delle sugherete. I box per la raccolta dei tappi possono essere trovati in negozi di alimentari, negozi di vini, sale di degustazione e infine cantine. Possono essere considerati anche bar, ristoranti, enoteche, centri congressi ecc. Non è considerato solo il riciclo dei tappi ma anche il loro trasporto. Infatti, l'associazione si impegna ad organizzare e gestire tutte le fasi di trasporto, per garantire la riduzione di emissione di CO₂. Infine, ci sono aziende come Western Pulp, Jelinek Cork e Corkologie si impegnano per sfruttare e valorizzare questo materiale, producendo un'ampia gamma di prodotti. [27]



Figura 3.4: Iniziativa di riciclo in Germania
Fonte: <https://natuerlichkork.de/genuss/>

Australia:

Clean Up _ Grazie all'organizzazione e alla cura che l'Australia pone sul tema della sostenibilità, si è sviluppato anche un programma basato sul riciclo dei tappi in sughero. In particolare, le Girl Guides a partire del 1992 hanno raccolto 30 tonnellate provenienti da amici, aziende, ristoranti ecc.

3.4.2 Iniziative nazionali

Figura 3.7: Box Etico di Amorim
Fonte: <https://www.italiaatavola.net/articolo.aspx?id=21301>

Etico _ A livello nazionale, per quanto riguarda il recupero del sughero, ed in particolare il riciclo dei tappi, ci sono pochi programmi. Ad esempio, il progetto Etico [28] dell'azienda Amorim Cork Italia prevede la raccolta periodica e il successivo riutilizzo in quanto materia prima preziosa in numerosi impieghi. In Italia ogni anno vengono buttati circa 800 milioni di tappi in sughero, i quali possono essere sfruttati in numerose applicazioni, non solo negli ambiti più classici, ma anche in quelli artistici. Il Progetto Etico nasce nel 2011 tramite l'azienda Amorim Cork Italia con lo slogan "Chi ama il sughero lo ricicla". L'ideatore del progetto, Carlos Santos, amministratore delegato dell'azienda in questione, afferma che l'obiettivo "è che in ogni città d'Italia venga avviata la raccolta differenziata del sughero al fine di offrire una nuova vita a questa materia prima straordinaria, troppo preziosa per essere gettata nell'immondizia". Le fasi del progetto Etico sono cinque e sono:

- La raccolta: l'azienda Amorim Cork Italia consegna ad ogni associazione/azienda convenzionata un box "Etico" [Figura 3.7], la quale è incaricata di posizionarlo in punti strategici della città interessata. I tappi raccolti vengono successivamente convogliati in un punto di raccolta indicato.
- La selezione: i tappi devono essere selezionati per evitare di ritrovare tappi di plastica posti accidentalmente nel box.
- La vendita: i tappi vengono rivenduti ad aziende impegnate nel riciclo del sughero al prezzo di 0,30 € al chilogrammo. L'azienda Amorim versa altri 0,40 € al chilogrammo come donazione al fine di raggiungere l'obiettivo di 700€ per ogni tonnellata raccolta.

- Il riciclo: i tappi vengono macinati e destinati all'edilizia sotto forma di pannelli o come bio assorbente per sostanze inquinanti.

- La solidarietà: il compenso recuperato dalla vendita viene anch'esso riciclato in favore delle aziende che in primis iniziano questo percorso.

Il progetto Etico ha ricevuto diversi premi da parte di Legambiente e dalla manifestazione green Giacimenti Urbani. Quest'ultima, è la prima azienda italiana a creare prodotti finiti a partire da tappi riciclati. Infine, il sughero granulato riciclato può essere utilizzato come materiale per l'efficiamento energetico e isolamento di coperture [29].



Figura 3.8: Iniziativa "Tappoachi?"
Fonte: <http://www.ilsughero.org/tappoachi-tappo-pannello-viaggio-sughero-usato/>

Tappoachi? _ Un altro progetto che ha preso le mosse negli ultimi anni, ed in particolare a partire da maggio 2009 è "Tappoachi?" [Figura 3.8], il quale è stato voluto da Rilegno, un consorzio italiano per la raccolta, il recupero e il riciclo di imballaggi di legno e sughero [30]. Il progetto coinvolge cinque regioni italiane che sono il Piemonte, la Lombardia, l'Emilia-Romagna, il Veneto e il Trentino-Alto Adige. Le regioni interessate si devono occupare di gestire la raccolta e il successivo riciclo, ri-utilizzando il materiale per addobbi, accessori moda, arredi e in edilizia. In particolare, il Piemonte è il caso emblematico di questo programma, perché sul suo territorio si trova la cooperativa Artimestieri Boves (in provincia di Cuneo), la quale possiede l'unico impianto italiano autorizzato al riciclo di scarti di sughero dando lavoro a persone diversamente abili. Questa cooperativa ha ribattezzato l'idea "Risughero", ri-utilizzando il sughero in modo diversi e alternativi. Al progetto possono partecipare non solo le aziende strettamente correlate alla filiera del sughero, ma anche i singoli cittadini. Anche in questo caso, la cooperativa interessata sarà responsabile nel convogliare il materiale raccolto e del suo conseguente riciclo [31]. E ancora, il caso "Tip Tapp" [32], questa volta torinese, con il quale Anffas Torino si presenta al bando "Vivomeglio", promosso dalla Fondazione CRT che ha lo scopo di sostenere e appoggiare proposte legate alla qualità della vita e al benessere di persone diversamente abili come soggetti integrati a pieno nella società. Il progetto, di carattere ecologico, è formato dalla raccolta dei tappi e dal suo riciclo, componendo pannelli per la bio edilizia.

Questi progetti sottolineano e sono promotori di una società nuova, ecosostenibile e solidale, una società pronta al cambiamento e alla valorizzazione delle risorse che, nel caso del sughero, sono pregiate e naturali al 100%.

3.4.3 Iniziative regionali

In Sardegna, le iniziative per il riciclo del sughero, ed in particolare dei tappi in sughero, sono le stesse applicate a livello nazionale e hanno lo scopo educativo soprattutto per fasce d'età precise nel rispetto dell'ambiente. Negli anni, sono state istituite delle giornate dedicate al sughero e al suo riciclo. Durante queste giornate, tenutesi nel paese di Calangianus, un gruppo di bambini del modenese ha raccolto i tappi di sughero stimolando in loro la curiosità nei confronti del materiale e delle sue lavorazioni, allo scopo "educativo"⁽²¹⁾. Il ricavo del riciclo e delle lavorazioni finanzia progetti di ricerca in ambito medico, creando contemporaneamente uno straordinario legame fra ambiente e lavoro.



Figura 3.9: Ex-Rockwool a Iglesias
Fonte: <https://www.sardiniapost.it/cronaca/nellarea-ex-rockwool-iglesias-partira-progettodel-biodistretto/>

Inoltre, SardegnaRicerche si occupa della valorizzazione del tappo e cerca di creare esperienze dalla fase di raccolta fino all'impiego del sughero in bioedilizia. Anche in questo caso lo scopo finale è la salvaguardia dell'ambiente [33].

Sul territorio sardo sono presenti cooperative e aziende che si occupano di materiali riciclati e della loro valorizzazione. Queste istituzioni, come ad esempio Edizero, Cooperativa San Lorenzo e l'ex stabilimento Rockwool [Figura 3.9], sono già attivi sul territorio e si occupano della valorizzazione delle materie prime regionali. Tali aziende, con la collaborazione di imprese più piccole, le quali si dedicano a prodotti di nicchia, potrebbero essere i centri principali per la raccolta e il riciclo dei tappi di sughero. Il loro legame, unito alle notevoli materie prime presenti sul territorio, potrebbe essere il punto d'incontro per la creazione di nuove filiere a chilometro zero e per la valorizzazione di nuovi prodotti innovativi e appropriati.

3.5 Riflessioni sulla ricerca

Dallo studio delle schedature emerge che in commercio sono presenti diversi tipi di agglomerato. Più in generale, gli agglomerati in sughero si dividono in due tipi per utilizzi diversi: sughero per comporre un prodotto e sughero per l'isolamento. Il secondo tipo è costituito solo da sughero in granuli senza l'aggiunta di colle naturali o sintetiche, e non può essere quindi considerato come un materiale composito. Per quanto riguarda il primo tipo, ovvero il sughero per la più generica composizione, esso è combinato a variegati leganti, i quali influiscono sulla resistenza e sulla densità dell'agglomerato. È importante ricordare che la densità del prodotto composto, per la maggior parte da granulato di sughero, dipende dalla dimensione dei granuli e quindi dalla loro massa volumica. La densità sarà diversa in base al tipo di applicazione ed esigenza dell'utente. Per citare alcuni esempi, i rivestimenti in sughero presentano una densità di 200-300 kg/m³, mentre i pavimenti hanno una densità di 400-500 kg/m³. I rivestimenti e i pavimenti sono generalmente fabbricati in pannelli, rotoli, piastrelle caratterizzati da diversi spessori, finiture e densità.

Un altro prodotto sul mercato che ha suscitato un notevole interesse è la gomma da sughero comunemente composta da granuli di sughero da 60-70 kg/m³, e dal 15 al 260% in peso rispetto alla gomma. Dal processo di produzione si ottengono blocchi o cilindri, i quali vengono poi tagliati per ottenere rotoli ed adattati successivamente per guarnizioni, isolamento dalle vibrazioni e simili. Gli altri prodotti che sono stati trattati sono fabbricati con processi simili a quelli utilizzati per i più comuni pannelli attraverso la pressatura. Alcuni di questi prodotti possono essere utilizzati in edilizia ed in particolare nelle costruzioni civili come isolanti termici e acustici, rivestimento di pareti, pavimenti, controsoffitti e giunti di dilatazione. Si ricordino le applicazioni del sughero nell'industria: isolamento di tubi, rivestimenti di batterie, isolamento di celle frigorifere ecc. (Gil, 2015).

Dopo l'industria del vino, le industrie aeronautiche e militari sono i più grandi consumatori di sughero, richiedono infatti agglomerati capaci di resistere agli urti, resistere termicamente ed essere ignifughi. Nell'industria aerospaziale sono utilizzati i sandwich con il cuore in sughero, performanti e leggeri, come ad esempio i sandwich sughero e carbonio, i quali sono stati sperimentati poco tempo fa e non risultano utili per uno scopo strutturale. Affinché il sughero possa essere considerato un materiale strutturale sono state testate diverse

(21) *Sughero e riciclo, un grande lavoro lo fanno i bambini*. La Nuova Sardegna, 30 giugno 2016.

granulometrie unite ad una resina epossidica utilizzata come legante, candidandosi a tutti gli effetti come uno dei materiali più all'avanguardia per le strutture sandwich. Sono zero invece le applicazioni che dichiarano il sughero e le sue proprietà elettriche, perché sono pochi i casi trovati in letteratura.

Infine, dalle plance di sughero naturale si ricavano le maggiori applicazioni del settore calzaturiero creando solette, tacchi, riempimenti per soles e fondi, plantari ecc. La polvere di sughero è uno dei sottoprodotti di questa filiera più difficili da trattare a causa della sua composizione e superficie. Questo sottoprodotto subisce dei trattamenti di depolimerizzazione con soluzioni alcaline che gli donano il livello di secchezza desiderata. Durante la fase di pressatura i costituenti chimici del sughero fungono da leganti, infatti potrebbero essere aggiunti in questa fase altri componenti, ad esempio le fibre naturali. Questa lavorazione semplice ed economica consente di impiegare il sughero in polvere al fine di ottenere materiali rigidi e con una massa volumetrica di 1000 kgxm³ circa.

Grazie alle sue notevoli potenzialità, il sughero è un materiale che ha incuriosito il mercato, e più nello specifico il mercato dell'edilizia oggi rivolto sempre più verso un'ottica ecosostenibile. La differenziazione all'interno del mercato del sughero è fondamentale perché conferisce al materiale un valore aggiunto. Inoltre, le tecnologie sempre più all'avanguardia consentono di ideare e sperimentare nuovi prodotti e nuove soluzioni utili per diverse applicazioni.

Il contesto portoghese svolge un ruolo vitale nel mercato del sughero, in quanto sprona lo sviluppo di nuovi materiali a base sughero, non solo dal punto di vista economico ma anche dal punto di vista accademico attraverso la pubblicazione di numerosi testi scientifici, i quali, alcune volte, risultano in collaborazione con le aziende del settore. Ne è testimone lo studio del 2004 svolto dell'Istituto Nazionale di Ingegneria e Tecnologia Industriale (INET) che ha rilevato 691 brevetti registrati in tutto il mondo che impiegano il sughero, i quali valorizzano le caratteristiche di questo materiale per nuove applicazioni e processi produttivi. I 691 brevetti si suddividono in: 363 Applicazioni scientifiche, 115 Tappi di sughero, 114 Sughero agglomerato e infine 99 Tecnologie, processi e attrezzature [16]. Il mercato portoghese è la massima espressione della leadership iberica, il quale si dimostra reattivo alla sempre crescente domanda di mercato con una particolare sensibilità nei confronti dell'innovazione unita ad un prezzo competitivo, come confermato dall'azienda Amorim Cork.

L'incremento della domanda di sughero si segnala soprattutto nel settore dei vini grazie al costante controllo di qualità, nel settore dell'edilizia e nelle sempre più in ascesa innovazioni tecnologiche. Per quanto riguarda l'industria in Italia "...che annualmente produce 1,5 miliardi di esemplari, ha uno straordinario alleato nella nuova frontiera dell'edilizia sostenibile, che si colloca perfettamente anche nel quadro dell'economia circolare."⁽²²⁾ Nonostante la dichiarata capacità produttiva italiana, manca ancora una visione d'insieme che sappia unire tecnologie all'avanguardia e competenze, al fine di creare nuove prospettive produttive. Perciò il sughero, materiale naturale e riciclabile, è per il mondo dell'edilizia un prodotto di grandi potenzialità all'interno di un mercato formato invece da prodotti tradizionali, che trova nel tappo la sua massima espressione.

Allo stesso modo, il tappo è l'unico prodotto del sughero che ha ispirato iniziative e progetti per il suo riciclo e riutilizzo. Queste iniziative, presenti soprattutto in Europa, sono di ispirazione per la valorizzazione di questo materiale che grazie alle sue notevoli caratteristiche è in grado di garantire ottime prestazioni anche durante la sua seconda vita.

Inoltre, le associazioni e le istituzioni che si occupano della raccolta fisica dei tappi aiutano alla diffusione del modello di produzione e consumo dell'economia circolare. Infatti, il pannello isolante in sughero risulta il principale prodotto finito, seguito da oggetti di design, a partire proprio dai tappi in sughero. Così, la filiera del sughero è ricca di valori e sensibilizzazione nei confronti delle tematiche ambientali, si contraddistingue per la diversità di attori che partecipano e cooperano per combinare tradizione e innovazione.

(22) Romano, M. "La produzione del sughero verso l'edilizia", in *Innovazione, Sole24ore Economia*, 14 gennaio 2020.

PARTE III : PROPOSTE PER NUOVI SCENARI

Proposte per nuovi scenari

Secondo quanto emerge dai capitoli precedenti, il comparto del sughero risulta dinamico e completo, soprattutto per quanto riguarda la gestione degli scarti che vengono reinseriti all'interno del processo produttivo e successivamente valorizzati. Nonostante questo, uno dei principali limiti della filiera, ed in particolare di quella sarda, è la carenza di materia prima. Questa mancanza rallenta il processo produttivo e costringe le aziende ad interrompere il "filo rosso" regionale.

Un contributo fondamentale, affinché questa filiera sia migliorata, potrebbe essere la progettazione di nuovi prodotti compositi che combinano il sughero ad altri materiali. I compositi sono prodotti già sperimentati in questo campo e potrebbero sia stimolare la competitività economica delle industrie locali, sia promuovere un consumo più sostenibile. Infatti, dagli articoli schedati nel capitolo 3, emerge che è fondamentale testare e promuovere nuove proposte e strategie basate sul potenziamento e la differenziazione dei prodotti in sughero. Il sughero è un oggetto di studio interessante, in quanto la sua potenzialità di miglioramento dei compositi in cui è inserito non è stata esplorata a fondo. Ciò che si vuole indagare è come la percentuale di sughero, presente all'interno del composito, ne possa influenzare le prestazioni finali.



Figura 4: Cork House, Architct MPH Architects, 2019.
Fonte: © Ricky Jones
<https://www.architecture.com/>

A tal proposito, è importante segnalare una sperimentazione iniziata nel 2014 e terminata nel 2019, descritta nell'articolo "*Cork Construction Kit*"⁽²³⁾ pubblicato il 4 maggio 2020. Tale articolo si riallaccia al tema compositi, sfruttando il sughero espanso come materiale da costruzione combinato con legname ingegnerizzato. Lo scopo è di creare dei blocchi posati a secco di facile creazione e montaggio, per avere in conclusione un edificio a basso consumo energetico e che, alla fine del suo ciclo di vita, possa essere smontato e riutilizzato. La ricerca si è svolta per fasi: la prima fase riguarda la conoscenza del sughero espanso sotto il punto di vista della costruzione e le sue possibili prestazioni, la seconda riguarda la sperimentazione e l'ideazione di prototipi sottoposti a prove tecniche di laboratorio al quale hanno partecipato e contribuito diverse istituzioni del UK, ed infine, la terza fase con la realizzazione di un edificio che verrà monitorato per il resto della sua vita [Figura 4].

(23) Wilton, O., Howland, M. *Cork Construction Kit*. The Journal of Architecture, 2020.

La fase di sperimentazione vede coinvolta l'azienda portoghese Amorim, la quale ha testato il sughero espanso ad alta densità, requisito base per la realizzazione del prodotto in questione. L'ipotesi di partenza, da cui ha preso le mosse la ricerca, è la volontà di voler creare un'architettura basata sull'utilizzo di un materiale naturale, reperibile sul territorio, sotto forma di blocchi. La lettura di questo studio può essere una buona base di partenza per la combinazione del sughero e il suo utilizzo nel campo dell'edilizia.

Per tutte queste ragioni la proposta di questa tesi è di combinare la materia prima con altri materiali reperibili e disponibili sul territorio, implementando la produzione e creando delle nuove possibili filiere dal punto di vista produttivo e economico.

Grazie allo studio delle schedature, affrontato nel capitolo 3, la scelta ricade su due specifici materiali, entrambi disponibili in Sardegna: la terra cruda e la lana di pecora. La terra cruda è disponibile sul territorio sardo in particolare nel campidano, e la lana di pecora è una fibra naturale poco costosa, facilmente reperibile ed abbondante sul territorio. Inoltre, due schede in particolare forniscono indicazioni utili per la realizzazione di due nuovi compositi, ovvero il brevetto blocco di terra, cemento e granuli di sughero espansi che forma un prodotto traspirante con buone caratteristiche termiche e meccaniche, e "Corkcoco" un pannello sandwich composto da sughero bruno tostato e fibre di cocco con ottime caratteristiche acustiche. Questi due prodotti attestano che il sughero, combinato con questi materiali, presenta numerosi vantaggi sotto l'aspetto termico, acustico e perfino strutturale, così come riportato negli articoli scientifici nel capitolo 3.

L'obiettivo è di individuare due tipologie di prodotti a base sughero, che danno prova di caratteristiche diverse, e che siano tecnologie a chilometro zero inserite in un determinato contesto culturale. Durante questa fase è fondamentale indicare in che punto dei due cicli produttivi le due filiere si incontrano, stimare le quantità necessarie, quali saranno le lavorazioni per la combinazione del futuro prodotto, le sue possibili applicazioni e i suoi acquirenti.

In un momento in cui il mondo del sughero, ed in particolare il sughero nell'edilizia, si muove verso i prodotti destinati all'isolamento sarebbe importante ragionare su nuove possibilità che sfruttino a pieno questo materiale in altre applicazioni, migliorandolo.

4. SCENARIO 1: Blocco termo-isolante in terra cruda e sughero

La terra cruda occupa un ruolo di rilievo nel campo dell'edilizia grazie alle sue notevoli capacità di isolamento termico: questo materiale viene spesso utilizzato nelle strutture portanti e di tamponamento, protegge sia dal caldo che dal freddo e assicura un buon risparmio energetico. La terra, spesso associata ai soli muri perimetrali, può essere utilizzata a partire dalle strutture/tamponamenti fino agli elementi di finitura, ed infine come elemento d'arredo. L'impiego di questo materiale in edilizia rappresenta un buon numero di benefici perché, essendo un materiale reperibile in situ, agevola la sostenibilità e l'economia locale.

4.1 Obiettivi

Lo scopo di questa filiera è di realizzare un mattone prefabbricato da utilizzare in ambito di interventi di restauro e consolidamento all'interno di un patrimonio storico della terra cruda già più che consolidato sul territorio sardo. A tal proposito, la Sardegna attraverso la legge regionale n.29 del 13 ottobre 1998⁽²⁴⁾ vuole tutelare e valorizzare i centri storici della regione costruiti appunto con questa materia prima così povera ma allo stesso tempo pregiata.

Nei paragrafi successivi, dedicati alle strategie di produzione, verranno esposti e spiegati le tecniche costruttive e le scelte prese.

4.2 Riferimenti in letteratura

In letteratura sono presenti testi ed articoli scientifici utili a definire un punto di partenza per le nuove proposte sul tema. I dettagli degli articoli riportati di seguito sono messi in evidenza attraverso delle schede che inquadrano gli argomenti trattati e la terra cruda combinata con il sughero.

(24) Tutela e valorizzazione dei centri storici della Sardegna, Regione Autonoma della Sardegna. In [33] Riferimento sitografico

TITOLO: Properties of the Compressed-Stabilized Earth Brick Containing Cork Granules

Autori: Guettala, S., Bachar, M., Azzouz, L.
Rivista: Journal of Earth Science and Climatic Change
Anno di pubblicazione: 2016

Contenuti e metodologia

Questo documento indaga le proprietà meccaniche e la conduttività termica della terra stabilizzata compressa in mattone contenente granuli di sughero. Il terreno scelto è stato prelevato un preciso territorio e successivamente analizzato. Il sughero proviene dagli scarti della lavorazione di uno stabilimento ubicato nella regione di Jijel, in granulometria 3/8 mm. Per ogni percentuale di sughero utilizzato è stata svolta una sperimentazione dedicata.

Materiali analizzati

- Sughero in granuli
- Terra, sabbia

Risultati

La giusta composizione (terra-sabbia-sughero) garantisce una buona compressione. L'utilizzo della compattazione migliora la resistenza meccanica e aumenta la conducibilità termica del manufatto.

L'articolo "*Properties of the Compressed-Stabilized Earth Brick Containing Cork Granules*" del 2016 indaga le proprietà meccaniche e la conduttività termica della terra stabilizzata e compattata in un mattone che contiene granuli di sughero espanso. Alla composizione ottimale suolo-sabbia-cemento viene aggiunto una quantità di sughero granulare di 3/8 mm da 2% al 12%. I granuli di sughero per essere inseriti all'interno del composto devono essere rivestiti con cemento per evitare che assorbano acqua durante il processo di incorporazione. La sperimentazione, mostra come la presenza di sughero influisca sulle proprietà meccaniche, ed in particolare sulla resistenza a compressione. La resistenza a compressione di un blocco di terra compattata e stabilizzata con cemento è di 2,8 MPa mentre, con l'aggiunta di granuli (12%) e con una compattazione statica di 10 MPa si riduce del 7,41% a 28 giorni. Per quanto riguarda le caratteristiche termiche i granuli di sughero riducono la conducibilità termica in modo significativo. Maggiore è la presenza di granuli di sughero minore sarà la conducibilità termica, migliorando di fatto l'isolamento termico del materiale. Da ricordare il caso studio esposto nell'articolo "*Earth building in Spain*" del 2006 nel quale viene descritto l'edificio realizzato dall'architetto Gabriel Barbeta, già approfondito del capitolo 3.

TITOLO: Earth building in Spain

Autori: Delgado, M., Cañas, I.
Rivista: Construction and Building Materials
Anno di pubblicazione: 2006

Contenuti e metodologia

Lo scopo di questa sperimentazione è di costruire un edificio/prototipo con l'utilizzo di "eco-calcestruzzo", composto da terra, sughero, cemento a acqua.

Materiali analizzati

- Miscela di terre
- Sughero in granuli
- Cemento

Risultati

Edificio di tre piani fuori terra, con particolari forme e segue criteri bioclimatici. Dato l'utilizzo di materiali naturali, sono state riscontrate alcune difficoltà nelle modalità di posa da parte delle maestranze locali.

TITOLO: Improving Thermal Performance of Rammed Earth Walls Using Expanded Granulated Cork

Autori: Correia-da-Silva, J. J. Pereira, João
Rivista: Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB) Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Anno di pubblicazione: 2013

Contenuti e metodologia

Nel sud del Portogallo sono ancora molto utilizzate le costruzioni in terra battuta, ma dato il clima, si cerca di migliorare le prestazioni termiche di questi edifici con l'aggiunta di granulato di sughero espanso in diverse percentuali.

Materiali analizzati

- Terra battuta
- Sughero in granuli espansi

Risultati

I risultati hanno mostrato che, l'utilizzo di questo tipo di tipologie edilizie sulla terra con l'incorporazione di sughero granulato espanso, consente di aumentare le prestazioni adattando questa tipologia alle esigenze odierne, comprese quelle legislative. I risultati di questa ricerca possono essere applicati, con gli opportuni adattamenti, sia in edifici in terra battuta che in edifici in adobe.

L'articolo "*Improving Thermal Performance of Rammed Earth Walls Using Expanded Granulated Cork*" del 2013 nel quale si indagano le proprietà della terra cruda in un paese come il Portogallo, patria del sughero, e si cerca di capire quali siano le possibilità di questo nuovo materiale. Anche in questo caso si vogliono esplorare le caratteristiche fisiche e meccaniche di questa unione. Per questa ragione sono stati prodotti dei provini cubici di 10 cm con risultati soddisfacenti perché questi tipi di materiali possono essere utilizzati e

adattati alle nuove costruzioni, e cosa fondamentale possono essere conformi alla normativa. Questo tipo di lavorazione può essere impiegata per edifici in terra battuta e per adobe.

TITOLO: Improving rammed earth wall thermal performance with added expanded granulated cork

Autori: Correia-da-Silva, J., Pereira, J., e Sirgado, J.
Rivista: Architectural Science Review
Anno di pubblicazione: 2015

Immagini significative:

Contenuti e metodologia

Lo scopo di questo studio è migliorare le prestazioni termiche di un muro in terra battuta, aumentando la resistenza termica con l'aggiunta di granulato di sughero espanso.

Materiali analizzati

- Terra battuta
- Sughero in granuli espansi

Risultati

L'aggiunta del 10% di granuli espansi di sughero migliora sensibilmente la resistenza termica di un muro in terra battuta di 0,60m.

Infine, l'articolo scientifico *"Improving rammed earth wall thermal performance with added expanded granulated cork"* del 2015 vuole esplorare un materiale di facile reperimento come la terra cruda e il sughero in quanto materiale isolante per eccellenza. L'obiettivo di questa ricerca è di aumentare la resistenza termica dei muri in terra battuta. Per raggiungere questo obiettivo alla terra sono state aggiunte percentuali diverse di sughero in granuli espansi. I campioni sono stati analizzati in laboratorio secondo il test di compressione uniassiale per determinare in che modo il sughero ne modifichi le proprietà e la resistenza termica. L'aggiunta di sughero ha comportato una riduzione del 28% della resistenza meccanica che rientra comunque nei limiti fissati dagli standard legislativi.

Gli articoli appena esposti dimostrano che la sperimentazione è possibile.

4.3 Il materiale

"La terra è il prodotto finale di un complesso di fenomeni naturali, di cui conserva una piena memoria che si estrinseca poi nelle sue "proprietà tecniche", partendo dalla disgregazione di rocce primarie (quali ad esempi graniti e basalti) esposte a particolari condizioni ambientali. I detriti risultati sono stati spesso quindi soggetti a movimentazione ad opera dei corsi d'acqua, dei ghiacciai e dei venti, e contemporanea modificazione sia chimica che mineralogica, tessitura e granulometrica ed infine a selezione gravitativa-granulometrica ed esposizione del bacino di sedimentazione dove è continuata l'evoluzione della terra, ad opera del clima e particolarmente delle acque percolanti e dell'attività biologica ed antropica."⁽²⁵⁾ Più in generale, è un materiale costituito da un aggregato naturale di particelle minerali le cui dimensioni sono comprese all'interno di limiti prefissati, secondo uno schema convenzionale di classificazione (Fontana, 2006). Il materiale terra presenta dei vantaggi e dei limiti che sono legati principalmente alla sua formazione e quindi alle tempistiche di sedimentazione. Uno dei vantaggi è la sua stabilità associato al fatto che questo materiale è il risultato di una serie lunga di fenomeni.

Inoltre, la terra utilizzata viene estratta da strati più profondi, i quali presentano caratteristiche migliori, al contrario degli strati superficiali che invece sono carichi di materiali organici e di rifiuti generati dall'uomo. Date le grandi dimensioni di un deposito sedimentario, al suo interno possiamo ritrovare diverse tipologie di terre, non riscontrando una vera e propria omogeneità del materiale che ha seguito dell'estrazione deve essere analizzato attraverso alcune procedure di controllo. Le procedure di controllo sono necessarie per individuare l'impiego della terra. Per esempio, se ci troviamo in presenza di una terra con una certa granulometria e contenuto di argilla, questa sarà utilizzata per la preparazione di un intonaco. Al contrario, se all'interno del composto è presente una determinata pluralità di componenti, questo può diventare un punto di forza, impiegando questa miscela per la produzione di mattoni crudi. Data la continua evoluzione della terra, non è possibile trovare ed utilizzare terre già estratte in precedenza. Questo materiale registra un limitato impatto ambientale in tutte le sue fasi dall'estrazione alla demolizione, i costi sono ridotti e non produce emissioni di anidride carbonica o altri inquinanti in atmosfera. In edilizia è preferibile combinare questo materiale con altri materiali biologici come il legno, inerti ecc. in quanto materie prime illimitate e inesauribili.

(25) Achenza, M. e Sanna, U. (a cura di), *Il manuale tematico della terra cruda*, Regione Autonoma della Sardegna, 2008, p.8.

Questo tipo di costruzioni consentono di fare economia sul riscaldamento e raffreddamento degli ambienti, offrono un'elevata resistenza al fuoco e consentono un buon isolamento acustico.

La terra cruda in Sardegna

La terra cruda è un materiale ampiamente disponibile sul territorio sardo. Essa, infatti, è facilmente reperibile nella zona del Campidano delimitata da grandi città: a nord dalla città di Oristano e a sud dalla città di Cagliari, a ovest dalla città di Iglesias e a sud-est dal fiume Flumendosa. I punti descritti segnano il territorio delle argille [Figura 4.1].

- Zona 1: dal cagliaritano, sopra gli stagni e le saline si può osservare una cintura semicircolare insediativa attorno allo stagno Molentargius.
- Zona 2: una grande asta lineare che segue il corso del fiume Mannu e che è presidiata dai paesi di Elmas, Assemini e Decimomannu. Anche in questo caso è visibile una forte impronta insediativa di età altomedievale, altri insediamenti sono presenti nelle zone di Settimo, Sinnai e Maracalagonis.
- Zona 3: corpo centrale dell'insediamento che è compreso fra i rilievi orientali e occidentali. Sul versante orientale troviamo i paesi di Monastir, Nuraminis e Serrenti mentre, sul versante occidentale i paesi di San Sperate, Villasor, Serramanna e Samassi. Al di là di Sanassi incontriamo quello che è il sistema di tre poli formato da Sanluri, Sardara e San Gavino Monreale. Un altro centro fondamentale per la produzione di terra cruda è Guspini.
- Zona 4: Proseguendo verso nord, ovvero verso Oristano, si trova il sistema insediativo di Terralba-Uras, che anticipa i grandi stagni del centro Sardegna.
- Zona 5: il territorio della terra cruda si completa con la zona individuata in precedenza attorno alla foce del Flumendosa. In quest'area ritroviamo i centri di Muravera, San Vito e Villaputzu, i quali segnano un confine fra l'area fertile caratterizzata dalla presenza di questa materia prima e i rilievi che si sviluppano verso l'Ogliastra.⁽²⁶⁾



Figura 4.1: Presenza della terra cruda in Sardegna
Fonte: <http://casediterra.com/le-case-terra-italia/>
Rielaborazione dell'autore.

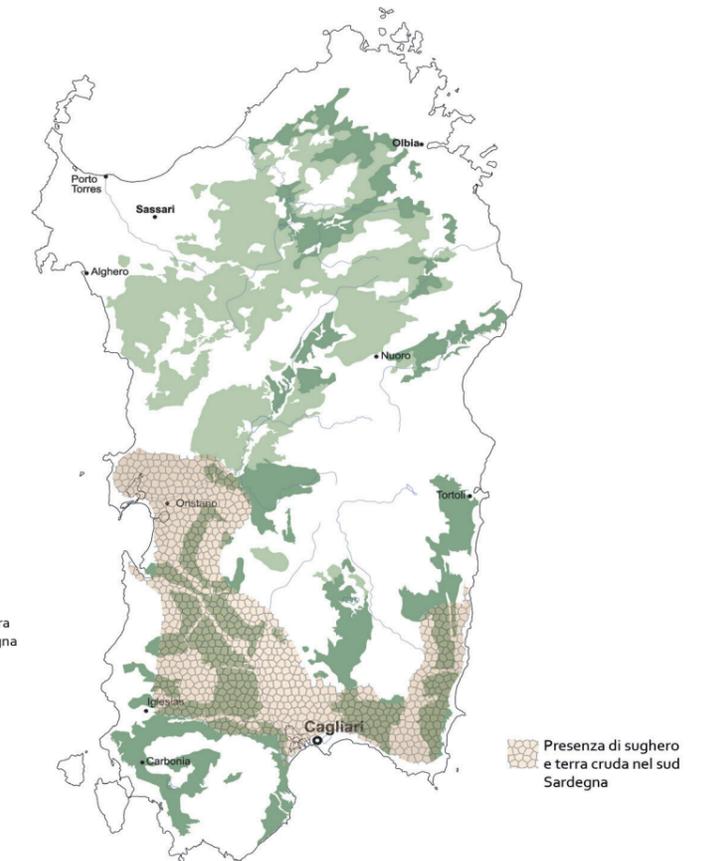


Figura 4.2: Presenza di sughero e terra cruda in Sardegna
Rielaborazione dell'autore.

La presenza di sughero e terra cruda in Sardegna [Figura 4.2] è il presupposto per la proposta di una nuova filiera che possa promuovere e valorizzare le materie locali, e sostenere il ripristino e la manutenzione del patrimonio architettonico in terra cruda.

(26) Sanna, A. e Atzeni, C. (a cura di), *I manuali di recupero dei centri storici della Sardegna, architettura in terra cruda*, Regione Autonoma della Sardegna, 2009, pp.3-8.

Caratteristiche della terra

Secondo la scienza e la tecnologia dei materiali la terra è un materiale composto perché al suo interno distinguiamo una parte inorganica di una granulometria compresa fra il millimetro e il centimetro, ovvero la ghiaia, e una parte di granulometria più piccola sotto l'ordine dei nanometri per le argille. Compresa fra queste due granulometrie individuiamo la componente della sabbia e quella del limo o slit.

La distribuzione granulometrica si suddivide in (Fontana, 2006):

- ghiaia: dimensioni superiori ai 2 mm
- sabbia: dimensioni comprese fra 0,75 e 2 mm
- limo: dimensioni comprese fra 0,002 e 0,75 mm
- argilla: dimensioni inferiori a 0,002 mm
- colloidali: dimensioni inferiori a 0,001 mm

Le dimensioni e la distribuzione dei grani sono fondamentali perché influiscono sul comportamento meccanico della terra e del successivo manufatto. In particolare, la presenza di argilla, che è la parte più fine di questo composto, svolge la funzione di legante, unendo, con l'aggiunta di acqua, tutte le altre frazioni granulometriche. Banalmente, l'argilla ha lo stesso ruolo che ha il cemento all'interno dell'impasto del calcestruzzo. Il termine argilla è utilizzato in senso generico, si parla di argille al plurale perché è necessario approfondire la sua composizione e mineralizzazione. Quando si pensa all'argilla, si pensa ad un materiale conosciuto e largamente utilizzato a partire dall'antichità. In realtà, solo a partire dall'inizio del XX secolo gli esperti hanno fatto un passo in avanti nella conoscenza di questo materiale grazie all'utilizzo della tecnica a raggi X. Tutt'oggi, però, risulta ancora poco indagato. "Le argille sono dei silico-alluminati idrati i cui atomi costituenti sono aggregati in strutture prevalentemente cristalline con caratteristica geometria (abito) lamellare (fillosilicati). È proprio questa forma osservabile, almeno in taluni casi, tramite l'impiego della microscopia elettronica a decine di migliaia di ingrandimenti, che rende conto di proprietà quali la caratteristica plasticità in presenza di acqua"⁽²⁷⁾.

Ed è proprio la combinazione argilla-acqua a conferire plasticità al materiale terra. Il limo, invece, all'interno di un impasto colma i vuoti presenti fra i grani più grandi, donando compattezza all'impasto. Inoltre, la ghiaia e la sabbia sono inerti di media e grandi dimensioni. La loro funzione è di dare corpo all'impasto, definendo un vero e proprio scheletro e ridurre al minimo i fenomeni di

ritiro e spaccatura. La sabbia è fondamentale per la stabilità dimensionale del materiale, in particolare all'aumentare della sabbia diminuisce la resistenza meccanica. Fra tutti i componenti di questo materiale è sempre presente una determinata quantità di vuoti che ne definiscono la porosità, la quale influenza le prestazioni meccaniche del materiale. Infine, è presente un contenuto di acqua sotto forma di soluzione salina diluita, la quale è presente all'interno dei pori insieme a vapore acqueo e aria.

Affinché la terra possa essere impastata, la quantità di acqua deve essere ottimale. Le terre che hanno un contenuto di argilla superiore hanno necessità di un contenuto maggiore di acqua. Più in generale, si raggiunge il culmine di plasticità quando il contenuto di acqua è compreso fra il 15 e il 25% in peso (Achenza, Sanna, 2008).

Aggiunte naturali o artificiali: per chi utilizza la terra cruda è ormai chiaro quali siano i limiti di resistenza e di durevolezza, per questa ragione sono stati sperimentate diverse aggiunte di origine vegetale o animale presenti in natura e rinnovabili. Una delle sperimentazioni più recenti è l'aggiunta di calce o cementi idraulici, questi ultimi in particolare danno stabilità dimensionale al materiale. Nonostante le proprietà sopra citate, nessuna di queste aggiunte può fare in modo che la terra abbia la stessa qualità che può avere solo ed esclusivamente con la cottura, mediante il processo di ceramizzazione, che stabilisce una differenza fra la bassa e l'alta resistenza e durevolezza. Fra le varie aggiunte la paglia è quella più conosciuta: il suo compito è quello di aiutare il processo di essiccamento e stabilizzare meccanicamente il manufatto.

Impieghi e applicazioni in edilizia

Per utilizzare la terra è necessario effettuare delle prove in laboratorio oppure prove che possono essere effettuate in situ. Queste ultime possono essere più semplici se si ha una buona conoscenza del materiale e possono stabilire risultati simili a quelle svolte in laboratorio. La grande diversità fra le terre rende complicato il campionamento e le conseguenti analisi. Per questa ragione, prima di utilizzare una determinata terra è necessario conoscerla a fondo per prevenire ed evitare eventuali problemi sui costi produttivi e sulla loro messa in opera. I primi test da effettuare sono quelli in loco, seguiti da quelli in labo-

(27) Achenza, M. e Sanna, U. (a cura di), *Il manuale tematico della terra cruda*, Regione Autonoma della Sardegna, 2008, p. 11.

ratorio, soprattutto nel caso in cui i primi non siano omogenei fra di loro. Le prove di laboratorio più comuni sono l'esame difrattometrico a raggi X, che consente di arrivare alla conoscenza granulometrica, e l'esame dei limiti di Atterberg per individuare l'indice di plasticità a tutti gli stati possibili (liquido, plastico, semisolido, solido).

Per quanto riguarda le prove in loco o "prove di cantiere" si utilizzano strumenti facilmente reperibili, come ad esempio l'analisi della sedimentazione e l'esame del ritiro, e esami diretti grazie all'utilizzo dei sensi (tatto, olfatto, vista, lavaggio delle mani ed esame del morso) [34].

Nel corso dei millenni la terra è sempre stata utilizzata come materiale da costruzione ed è un tema importante, tutt'oggi di grande rilievo. Sono tantissime le tecniche per la produzione edilizia ma ne consideriamo sei principali (Anchenza, Sanna, 2008):

1. Adobe: mattoni prodotti attraverso uno stampo, con eventuale aggiunta di stabilizzanti come ad esempio la paglia, e lasciati ad essiccare all'aria aperta. La loro produzione può essere manuale o meccanizzata.
2. Pisè: detta anche "beton de terre", consiste nell'utilizzo di casseforme che possono essere di legno o di metallo, nelle quali la terra viene compattata con strumenti appositi, detti pestelli.
3. Terra-Paglia: un impasto di terra e acqua viene versato su una struttura di paglia fino ad avvolgere ogni stelo. Si versa in strati di 20/30 cm alla volta, i quali possono essere compattati manualmente con l'utilizzo di pestelli in legno o con compressori meccanici.
4. Torchis: tale tecnica viene realizzata con un supporto, ovvero una griglia di legno o metallo appoggiata ad una struttura portante. La griglia viene ricoperta da più strati di terra e paglia al fine di costituire pareti da costruzione.
5. Blocchi compressi: blocchi ottenuti attraverso la compattazione di terra umida con presse meccaniche o manuali. Possono essere stabilizzati con l'aggiunta di calce o cemento.
6. Bauges: il classico impasto terra e paglia, questa volta duro, viene sagomato a mano senza l'utilizzo di casseri. Questa tecnica è conosciuta, soprattutto nell'Italia centrale, con il nome di massone.

Tutte le tecniche citate hanno necessità di una terra specifica, sia per quanto riguarda la granulometria che per la lavorabilità. Le diverse tecniche si sviluppa-

no perciò per sfruttare le caratteristiche della materia prima disponibile a livello locale. Queste tecniche sono illustrate nella tavola sinottica creata da CRA-Terre⁽²⁸⁾ [Figura 4.3]. La tavola può essere utilizzata come uno strumento per la comprensione delle tecniche costruttive al fine di valutare correttamente le prestazioni finali dei prodotti in terra cruda. A partire dal centro sono individuate le 3 tipologie costruttive. Per ognuna di esse sono illustrate 18 tecniche costruttive utili al completamento del prodotto desiderato. Infine, i numeri esterni indicano la tipologia di terra utilizzata.

1. Terra di scavo
2. Terra di copertura
3. Terra di riempimento
4. Terra tagliata
5. Terra battuta
6. Terra modellata
7. Terra impilata
8. Terra modellata con stampi
9. Terra estrusa
10. Terra colata
11. Terra-paglia
12. Terra di rivestimento

Fonte: Bocci M.
Una visuale sull'architettura di terra
tra Europa e Brasile = A view of earth
architecture between Europe and Brazil,
2018. Web. p.13.

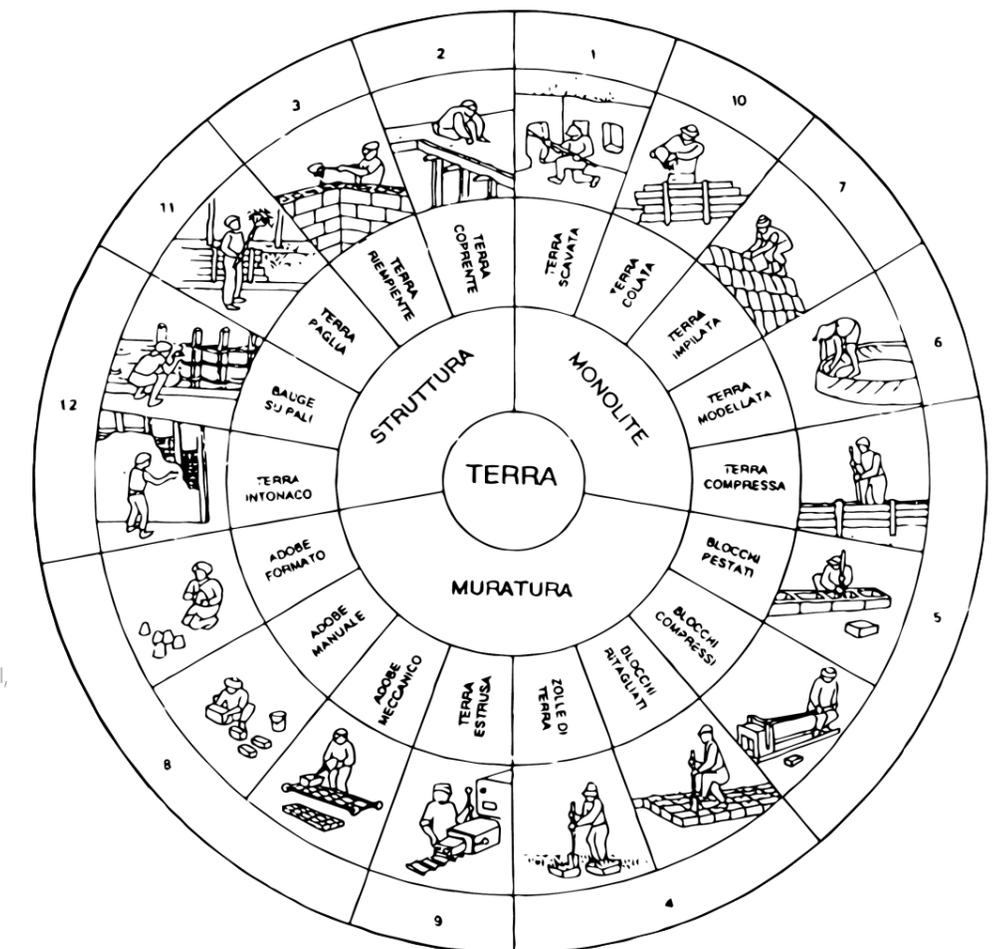


Figura 4.3: Tavola sinottica CRAterre. Applicazioni della terra
Fonte: Houben H, Guillaud H, 2006, *Traité de construction en terre*, Éditions Parenthèses.

(28) CRAterre: centro internazionale per la costruzione di edifici in terra. È un'associazione e un laboratorio di ricerca della scuola nazionale di Grenoble. (<http://craterre.org/>)

4.4 Strategia di produzione

In diverse zone del mondo sono state studiate ed approfondite le tecniche e le applicazioni di questo materiale, e in particolare in relazione alla zona in cui la terra è stata prelevata. Per esempio, in America Latina, Medio Oriente, Asia e Africa la terra cruda viene impiegata per la costruzione di nuovi alloggi destinati alle classi sociali più in difficoltà, contribuendo a definire una nuova metodologia di costruzione per edifici a basso costo.

In Europa, invece, la terra è utilizzata nell'architettura sostenibile al fine di controllare l'impatto ambientale e ridurre i consumi energetici.

In Germania, Francia e Spagna, la produzione di manufatti in terra cruda è molto sviluppata. Infatti, sono stati istituiti dei codici di costruzione e buone pratiche da seguire se si vuole costruire un edificio in terra cruda. In Italia, si rimarca l'innovazione e lo sviluppo di nuove tecnologie allo scopo di produrre nuovi materiali sostenibili e innovativi. Purtroppo, a causa del codice edilizio non aggiornato, la normativa italiana ostacola questo sviluppo, ponendo poca attenzione sul patrimonio architettonico italiano in terra cruda che può essere ritrovato lungo tutta la penisola e sulle due isole maggiori. In particolare, in Sardegna sono presenti edifici realizzati con "**ladiri**", così come vengono chiamati gli adobe tradizionali realizzati nelle zone del sud ed in particolare nel Campidano. Ed è proprio l'università di Cagliari che ha redatto un manuale di ricerca sul patrimonio sardo includendo indicazioni specifiche sulla manutenzione. Il mercato italiano privilegia la terra cruda impiegata in rivestimenti e intonaci mentre, per quanto riguarda le applicazioni di tipo strutturale, essa deve essere accompagnata da uno scheletro in legno o in acciaio.

Inoltre, il settore delle costruzioni non considera la terra cruda come un materiale sicuro. Questa tendenza rischia di far perdere tutte le conoscenze e i progressi fatti fin ora, a discapito di tutti gli edifici esistenti e futuri in terra cruda (Giuffrida, 2019).

Una volta scelto il terreno adatto alla costruzione è importante stabilizzare il manufatto con aggiunte chimiche o naturali affinché le proprietà chimiche, fisiche e meccaniche siano migliorate. Se alla terra non vengono aggiunte sostanze può essere riutilizzata in un ciclo infinito con lo scopo della costruzione. Di seguito è riportata la **definizione di adobe in versione sarda** esposta nel Manuale tematico della terra cruda del 2008:

"Il termine deriva dall'arabo al-tub (il mattone); in Sardegna varia secondo le zone: principalmente è làdiri, nel Campidano centrale, anche se in altre zone abbiamo le varianti làdini, làrdini, làdrini, derivanti tutte dal latino later.

Mattoni creati con uno stampo, a partire da un impasto di terra e paglia di consistenza tale da essere modellabile, lasciati essiccare all'aria aperta. La produzione può essere manuale ma anche completamente meccanizzata.

La messa in opera è la stessa di un muro in mattoni cotti, con ricorsi in malta di terra o di calce."

La seguente tavola racconta la produzione del ladiri in Sardegna e le lavorazioni necessarie per ottenere un mattone in terra cruda con aggiunta di granulato di sughero. La tavola è composta dal flow chat che racconta le fasi del processo produttivo del ladiri in Sardegna, dal flow chat che racconta la fasi del processo produttivo del sughero e dal punto in cui i due materiali si incontrano per la creazione del nuovo prodotto (ibridazione). Per una migliore compressione i due processi produttivi sono evidenziati con colori differenti, così come le fasi del nuovo scenario, le quali forniscono indicazioni utili per la realizzazione del prodotto finito.

Lettura consigliata di approfondimento: Sanna, A. e Atzeni, C. (a cura di), *I manuali di recupero dei centri storici della Sardegna, architettura in terra cruda dei Campidani, del Cixerri e del Sarrabus*, Regione Autonoma della Sardegna, 2009

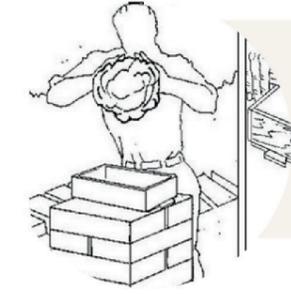
PRODUZIONE SCENARIO 1: BLOCCO TERMO-ISOLANTE IN TERRA CRUDA E SUGHERO

FLOW CHART "ladiri"

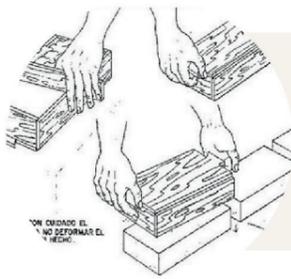
FLOW CHART SUGHERO



L'estrazione avviene generalmente nelle vicinanze del sito di costruzione. In questa fase è fondamentale selezionare ed analizzare il terreno. Selezionare una terra per Adobe significa scegliere un terra facile da modellare e lavorare e che contiene pochi sassi e ghiaia.



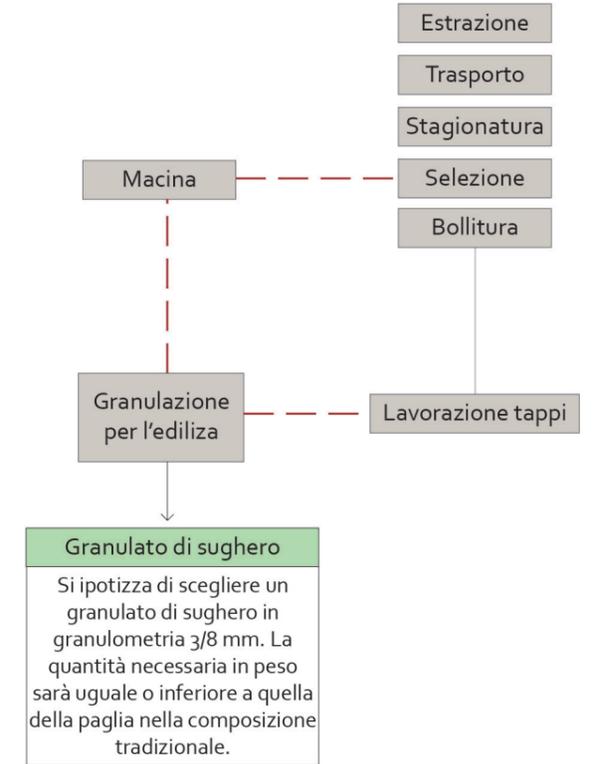
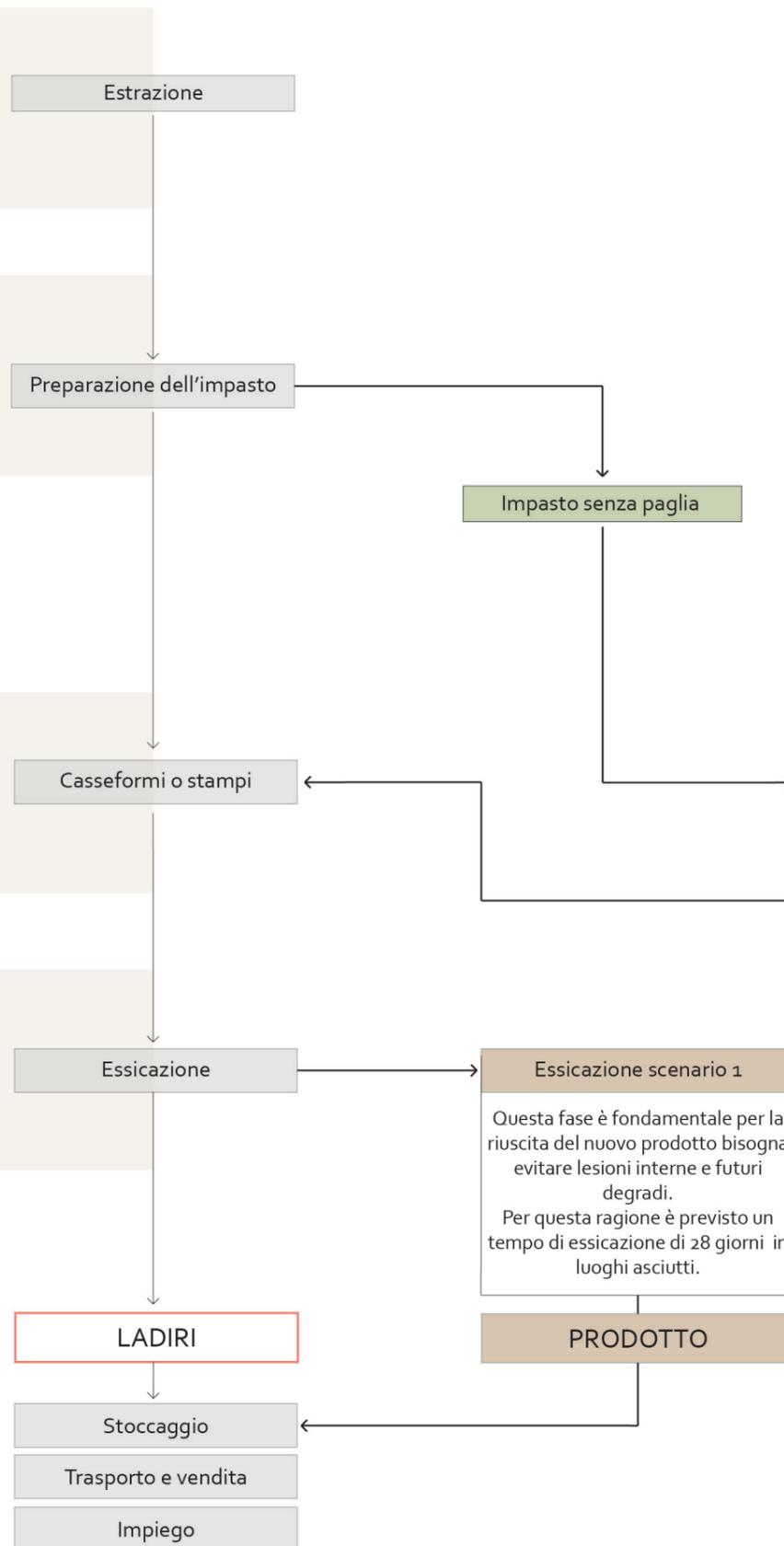
L'impasto è composto da terra, sabbia, acqua e paglia in una quantità necessaria affinché non sia ne troppo morbido ne troppo consistente. Per 1 m³ di impasto si impiega 1 m³ di terra unito ad 1 m³ di acqua, aggiungendo 0,23% di paglia pari a 47,5 kg in peso.



Le dimensioni degli stampi sono generalmente 10x20x40 cm. Essi devono essere bagnati e ricoperti di sabbia per favorire la fuoriuscita del mattone una volta terminata l'essicazione.



Questa procedura ha la durata di 2/7 giorni ed avviene solo ed esclusivamente al sole. Infatti, è un lavoro che deve essere svolto nei mesi più caldi in modo da avere la certezza che l'essicazione del mattone sia omogenea in tutti i punti del manufatto.

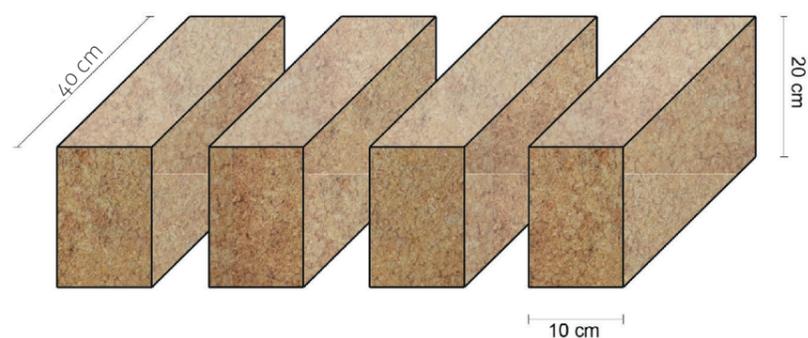


- Filiera della terra cruda
- Filiera del sughero
- Fasi del nuovo scenario
- Sottoprodotti filiera
- Materia prima

"BLOCCO TERMO-ISOLANTE IN TERRA CRUDA E SUGHERO"

Si tratta di un mattone Adobe (10x20x40 cm), conosciuto in Sardegna con il nome di "ladiri", implementato con granuli di sughero provenienti dalla filiera regionale. Questo prodotto ha uno scopo ben definito, ovvero la sostituzione di elementi in terra cruda per il recupero del patrimonio architettonico sardo che deve essere tutelato e valorizzato. In un contesto storico al quale devono essere applicate tecnologie appropriate, questa rappresenta un'alternativa valida per il recupero e la riqualificazione di edifici in terra cruda, contribuendo alla chiusura perimetrale dell'edificio e al suo benessere termico e acustico.

Scheda tecnica riassuntiva:



Applicazioni - Recupero e riqualificazione di edifici in terra cruda

Formati e composizione

10X20X40 cm

Composizione: 4,135 kg di terra
8,654 kg di sabbia
0,385 l di acqua
0,169 kg di granulato di sughero

Caratteristiche tecniche

- Isolamento termico
- Isolamento acustico

Modalità di posa in opera

La messa in opera avviene come i normali mattoni in terra cruda attraverso un legante adatto alla posa.

Caratteristiche ambientali

Biodegradabile

Rigenerabile

Riciclato

5. Scenario 2: Pannello isolante in fibra di lana di pecora e sughero

In questi ultimi anni abbiamo visto crescere la ricerca e l'innovazione in ambito di NFC, ovvero fibre naturali composite. Lo loro disponibilità e la loro versatilità per la creazione di compositi sono i principali motivi per i quali le fibre naturali vengono scelte in diverse applicazioni e sperimentazioni. La progettazione e la produzione di questi prodotti si sono sviluppate non solo per il fatto che sono sostanze leggere, ma soprattutto perché sono prodotti poco costosi, influenzando, infine, sul prezzo finale dei compositi che risulterà vantaggioso sul mercato. All'interno del territorio della Sardegna è presente una produzione specifica detta "Tessitura artigiana – SARDEGNA"⁽²⁹⁾, la quale si occupa di filati ed in particolare di tutti quelli composti da fibre naturali come lana di pecora, lana di capra, cotone, canapa, lino, seta, juta e filati sintetici. Tutti questi materiali sono impiegati per scopi decorativi come arazzi, tappeti ecc.

Nel settore della bioedilizia la regione si impegna a gestire una filiera verde che ha sede nell'ex stabilimento Rockwool, all'interno del quale l'obiettivo principale è di produrre manufatti ecosostenibili quali malte, mattoni, materassini in lana di pecora, biopannelli ecc. Si parla in questo caso di filiera corta, dove è presente un vigoroso risparmio energetico nel rispetto dell'ambiente. A gestire questo progetto è la cooperativa San Lorenzo e sono coinvolte diverse aziende e cooperative che si occupano individualmente del singolo prodotto [36].

5.1 Obiettivi

Lo scopo di questa seconda filiera è di produrre un manufatto composito di sughero e lana di pecora. I due materiali possono essere definiti come le due produzioni cardine della regione. In questo caso lo scenario vira verso le nuove costruzioni e interventi di ripristino proponendo un rivestimento modulare o un pannello isolante, entrambi si inseriscano perfettamente nel contesto sociale e culturale. Nei paragrafi successivi sono esposte le caratteristiche della fibra scelta, le potenziali lavorazioni ed applicazioni.

5.2 Riferimenti in letteratura

Sebbene sia presente una ricca letteratura tecnica che espone i compositi a base sughero combinati con fibre naturali come lino, cocco, sisal e juta, così come indicato nel capitolo precedente, in letteratura non sono presenti articoli

(29) Disciplinare di produzione, Tessitura artigiana – Sardegna, Regione Autonoma della Sardegna. In [35] Riferimento sitografico

che discutono le modalità e le potenzialità della combinazione sughero-lana. Nonostante questo risultato di ricerca è importante citare e descrivere alcuni articoli fondamentali per la conoscenza e l'eventuale utilizzo di questa fibra abbinata a uno dei sottoprodotti del sughero.

Nel campo dell'edilizia le fibre naturali vengono spesso utilizzate come rinforzo e sono una valida alternativa per lo sviluppo di nuovi materiali cementizi.

TITOLO: Rendering Mortars with sheep's Wool fibers

Autori: Maia Pederneiras, C., Veiga, M., Brito, J.

Rivista: Materials

Anno di pubblicazione: 2019

Immagini significative:



Fig. 12 Sample of the modified mortar with wool fiber incorporation

Contenuti e metodologia

Questo elaborato indaga le proprietà e le caratteristiche della fibra di lana di pecora come rinforzo in una malta, investigando nello specifico il comportamento a fessurazione. Le fibre sono state combinate con due tipologie di malte: malta cementizia e cemento-calce.

Materiali analizzati

- Malta cementizia
- Malta cemento-calce
- Fibre di lana di pecora

Risultati

I risultati mostrano che l'incorporazione di fibre di lana ha aumentato la duttilità delle malte e migliorato le loro proprietà meccaniche. Inoltre, l'aggiunta delle fibre in qualsiasi malta migliorerà sensibilmente le prestazioni del manufatto. Non sono rilevanti i contributi di miglioramento nella combinazione cemento-calce-fibre.

Secondo lo studio "Rendering Mortars with sheep's Wool fibers" le malte sono soggette a fessurazioni e l'aggiunta delle fibre contribuisce al migliorare complessivamente le prestazioni finali. Una delle fibre naturali che viene utilizzata per assolvere a questo compito è la lana di pecora, ottima per questo scopo e rispetta le nuove norme di smaltimento. All'interno di un composito, le fibre migliorano il comportamento meccanico, la duttilità e la flessione mentre, per quanto riguarda la resistenza a compressione l'aggiunta di fibre ne determina una riduzione. In conclusione, questo studio afferma che, gli studi sulle fibre naturali incorporate alle malte cementizie sono in crescita, in particolare sono utilizzate le fibre riciclate. Questo vuol dire che l'aggiunta di fibre di lana migliora tutte le caratteristiche del composito, ad eccezione della resistenza meccanica, che possono essere sfruttate in una visione di protezione e rivestimento piuttosto che strutturale.

L'utilizzo della lana è interessante per molti settori, i quali la impiegano per scopi decorativi e riempitivi, in quanto è priva di sostanze tossiche. Purtroppo, la produzione di lana genera una grande quantità di rifiuti, sottovalutati per caratteristiche e sovra prezzati come scarti.

TITOLO: Utilization of waste wool fibers for fabrication of wool powders and keratin: a review

Autori: Chunhua, Z., Liangjun, X., Jiajing, Z., Xin, L., Xu, W.

Rivista: Journal of Leather Science and Engineering

Anno di pubblicazione: 2020

Contenuti e metodologia

Questo articolo vuole delineare le proprietà delle fibre di lana in applicazioni edilizie. Sono evidenziate tutte le proprietà della lana utili a tali scopi.

Materiali analizzati

- Fibre di lana di pecora
- Polvere di lana

Risultati

Revisione completa degli scarti prodotti dalla produzione della lana, caratteristiche e applicazioni.

Lo studio "Utilization of waste wool fibers for fabrication of wool powders and keratin: a review" del 2020 indaga le possibilità di questo materiale per lo sviluppo di nuovi prodotti con valori aggiunti. In particolare viene analizzata la polvere di lana, la sua produzione e tutte le lavorazioni necessarie per ottenerla. Tutti i metodi utilizzati presentano tempistiche brevi, basso costo e sono appropriati per la produzione in serie, e in ultimo, ma non per importanza, tutti i rifiuti generati da queste lavorazioni vengono riutilizzati e valorizzati. L'obiettivo è di creare biomateriali per i tessuti, per la cosmesi e materiali bioassorbenti. Il processo di produzione è il seguente: le fibre sono tagliate alla lunghezza di 1mm, vengono successivamente immerse in acqua per sei ore e inseguito macinate ad umido. Durante la macinazione il prodotto viene riportato ad una temperatura di 18°C. Segue la fase dell'essiccazione, ed infine un'ulteriore macinazione. Le due fasi di macinazione, prima ad umido e poi a getto d'aria, sono fondamentali perché determinano le dimensioni e la morfologia delle polveri.

In conclusione, grazie a questi trattamenti la lana può essere riutilizzata e lavorata fino ad un massimo di 10 volte mantenendo le caratteristiche iniziali e buone prestazioni. Tutto questo avviene grazie alla presenza della cheratina che è una proteina fibrosa che rende questo materiale così prezioso.

Altri articoli saranno citati in quanto approfondimenti per la conoscenza della fibra in questione e per il suo utilizzo.

5.3 Il materiale

Le fibre naturali vengono classificate in base alla loro posizione di origine, ovvero da dove vengono "estratte" e possono essere di origine vegetale o animale [Figura 5.1].

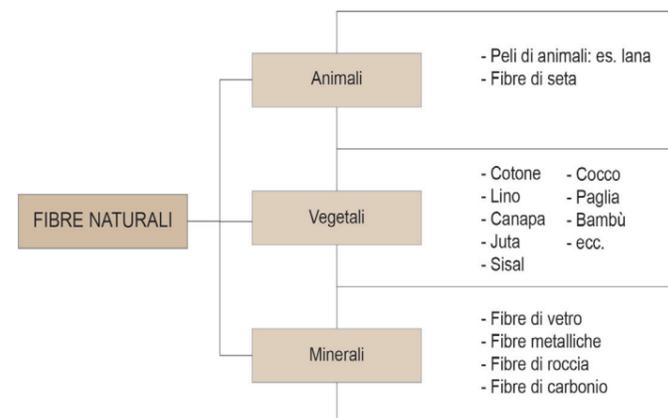


Figura 5.1: Classificazione origine delle fibre
Fonte: http://www.icmlking.it/files/Fibre-tessili-Techno_short.pdf

Dunque, la lana di pecora è una fibra naturale animale, e grazie alle sue origini e composizione presenta caratteristiche notevoli. La posizione geografica della fibra gioca un ruolo determinante nella sua scelta e nella sua acquisizione. Le proprietà delle fibre dipendono dalla loro struttura e composizione, seguite dal processo di conservazione, estrazione e raccolta, ed infine dal trattamento (Chaudhari, Bhole, 2020). Nel 2009 secondo la Coldiretti la lana italiana viene impiegata in minima parte e conta i seguenti dati: 8,2 milioni di pecore, 12 milioni di kg di lana grezza, 6 milioni di kg di lana lavata e 3 milioni di kg per la produzione di vestiti realizzati dalla lana. In riferimento a questi dati, emerge che la maggior parte della lana non viene impiegata e che quindi costituisce

uno scarto difficile da gestire e smaltire, soprattutto per i costi causati agli allevatori, ovvero i primi attori di questa filiera. Se si seguono i regolamenti CE 1069/2009 e 142/2001 questo filato deve essere smaltito allo stesso modo di un rifiuto speciale, causando dei costi esorbitanti. Secondo lo studio "*Rendering mortars reinforced with natural sheep's wool fibers*" del 2019, in Europa sono prodotte 270.000 tonnellate di lana all'anno, di cui il 75% è considerato rifiuto dell'industria tessile. Inoltre, il mercato privilegia fibre sintetiche al fine di assicurarsi un prodotto con prestazioni standard e che non presenti caratteristiche variabili come quelle della lana.

La lana di pecora in Sardegna

A partire dagli anni 2000 la Sardegna conta 12.669 allevamenti con più di 3 milioni di capi e si qualifica prima produttrice italiana di lana di pecora, nonostante la maggior parte degli allevatori si concentrino sulla produzione lattifera e di carne. Per quanto riguarda i mercati italiani essi acquistano il materiale grezzo da paesi esteri che producono una lana di qualità superiore, come ad esempio la Nuova Zelanda e l'Australia. Tutte le razze vengono selezionate in base alla tipologia di carne e latte e presentano tipicamente un "pelo" grossolano che viene scartato perché inadeguato alla filiera tessile [37]. Al contrario, il pelo dei capi destinati alla sola lana è molto sottile perché al suo interno è presente poca cheratina e non è adatto all'isolamento. È quindi importante capire la destinazione e la gestione di questo rifiuto a partire dalla regione di interesse. Da questo punto di vista, i capi della Sardegna sono considerati i più pregiati, presentano il pelo più spesso del 50% rispetto alle altre razze che sono destinate alla sola produzione lanifera. All'interno del processo produttivo solo i peli lunghi sono considerati risorsa e questo risulta un punto di partenza per una filiera destinata alla bioedilizia [38].

Caratteristiche della lana

La duttilità della lana dipende dalla sua struttura che analizzata al microscopio presenta le seguenti parti:

- Cuticola, ovvero la parte più esterna della fibra composta da scaglie;
- Strato intermedio con cellule fusiformi;
- Midollo, le sue dimensioni influiscono sulle capacità igroscopiche della lana.

Le scaglie della cuticola sono composte da cheratina mentre lo strato sottostante è costituito da una struttura resistente che assorbe vapore acqueo fino ad un terzo del peso della fibra. La cheratina è una proteina costituita da cinque elementi principali: 6-7% di idrogeno, 50% di carbonio, 21-24% di ossigeno, 15-21% di azoto e 2-5% di zolfo più altri elementi secondari. Lo strato più esterno, ovvero la superficie della fibra, è anche il fattore principale per la sua morbidezza e la rende una delle fibre naturali più lisce (Faisal, Md Sohrab, Japareng, Marwan, Ali, Mardiana Idayu & Abdalbaki, 2020). Le lane possono essere di due tipi: lane di minor finezza e lane di media qualità. Nella prima è presente un canale midollare poroso e sono poco lavorabili, le seconde non contengono il canale e sono di migliore qualità. Queste caratteristiche rendono la lana un prodotto con un grande potenziale sul mercato, soprattutto quello edilizio [37]. Le fibre possono essere differenti fra di loro e questo dipende da una serie di fattori come ad esempio il tipo di alimentazione del capo e sono:

- Lana vera e propria: fine (da 16 a 25 μ), non presenta midollo ed appare increspata, elastica, con accrescimento continuo (lunghezza circa 10cm);
- Pelo: presenta canale midollare, ha un aspetto meno increspato ed è meno fine. Può essere lungo fino a 25cm;
- Eterotipi: presentano caratteristiche intermedie alla lana ed al pelo;
- Giarra: è la fibra più corta (3-5 cm), presenta un ampio canale midollare (>70-80% del diametro della filamento), grossolana (> 100 μ);⁽³⁰⁾

Inoltre, la qualità della lana dipende dalla posizione sul capo ed è necessario rispettare un ordine di utilizzo.

Definizione di fibra tessile:

“un elemento caratterizzato da flessibilità, finezza ed elevato rapporto tra lunghezza e dimensione trasversale massima, che lo rendono atto ad applicazioni tessili.”⁽³¹⁾

Tutte le fibre si differenziano fra di loro per caratteristiche morfologiche, chimiche, meccaniche e fisiologiche che ne determinano peculiari applicazioni. La loro lavorabilità è determinata da aspetti dimensionali, aspetti fisico/meccanici e aspetti fisiologici. Per poter valutare impieghi e applicazioni della lana è fondamentale conoscere caratteristiche e proprietà che lo rendono un materiale versatile e adatto nel campo dell'edilizia.

(30) In [37] Riferimento sitografico, p.9.

(31) Decreto Legislativo 22 maggio 1999, n.194, “Attuazione della direttiva 96/74/CE relativa alle denominazioni del settore tessile”, Gazzetta Ufficiale .n.146 del 24 giugno 1999.

Una delle proprietà più interessanti della lana è l'elasticità dovuta alla struttura elicoidale della fibra, che è in grado di allungarsi del 50% senza arrivare a rottura quando è umida e del 30% in condizioni normali, superando le prestazioni delle fibre sintetiche. La tenacità rende questa fibra molto resistente ed è soprattutto una caratteristica delle lane grossolane che sono più adatti ad impieghi più resistenti. Inoltre, è resistente all'abrasione grazie al suo rivestimento esterno. Lo stesso rivestimento esterno è responsabile della impermeabilità della fibra all'acqua, ma la rende permeabile al vapore. “È capace di assorbire l'umidità, a 20°C, con un'umidità relativa del 65%, assorbe una quantità di acqua pari al 13,6-6% del suo peso allo stato secco. In condizioni di saturazione la percentuale di acqua assorbita sale fino al 35%⁽³²⁾. Anche in questo caso le fibre grossolane sono in grado di assorbire una rilevante quota di umidità. Rispetto ad una fibra sintetica, la lana presenta un buon potere ignifugo ed è sicura per molte applicazioni perché il suo punto di infiammabilità è a 580°C e per bruciare ha necessità di almeno il 25,2% di ossigeno (l'aria ne contiene il 21%). È considerata un isolante termico perché dotata di una bassa conducibilità termica (0,0318 W/mK) e un calore specifico del 1,3 kJ/kgK.

Infine, grazie ai suoi legami cellulari è un materiale anallergico non nocivo alla salute dell'uomo perché può essere utilizzato senza l'aggiunta di colle o leganti specifici (Cariola, 2016).

Impieghi e applicazioni in edilizia

La richiesta di lana rispetto ad altre fibre come nylon, acrilico e poliestere è nettamente inferiore, per questa ragione il mercato rende l'allevamento dei capi poco remunerativo. Se pur poco utilizzata, questa fibra offre caratteristiche interessanti che possono essere sfruttate per ottenere prodotti innovativi. L'utilizzo di questa fibra è confermato dalla crescente curiosità scientifica, la quale mette a disposizione diversi articoli scientifici a riguardo. La lana è un prodotto sostenibile a basso impatto ambientale, rinnovabile e biodegradabile. È un materiale comprimibile, è leggero e il suo trasporto non causa costi elevati. Le sue caratteristiche, elencate nel precedente paragrafo, la rendono un materiale eclettico e può essere impiegata in diversi settori come l'abbigliamento, l'aviazione, l'edilizia ecc.[37] [Figura 5.2].

(32) In [37] Riferimento sitografico p.13.

La lana viene adoperata anche in settori sperimentali come quello vivaistico e agricolo con prodotti di nicchia. Infine, l'obiettivo comune è di utilizzare questa fibra a 360°, sfruttando gli scarti di questa filiera anche in filiere già citate [39].

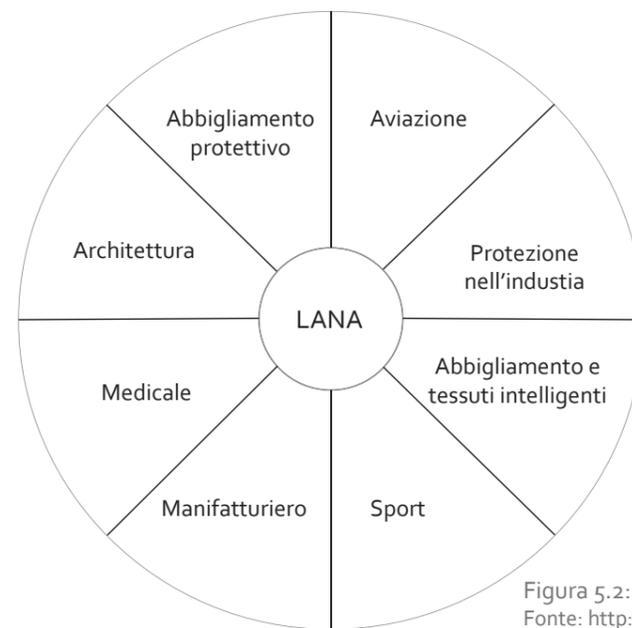


Figura 5.2: Tavola sinottica lana
Fonte: <http://www.lanatura.eu/sites/default/files/Relazione%20finale%20Valent.pdf> p.26
Rielaborazione dell'autore.

Abbigliamento protettivo: uniformi e calze.

Aviazione: guarnizioni, divise per hostess, decorazioni per interni, isolamento acustico.

Protezione nell'industria: controllo rumorosità e vibrazioni, condizionamento, filtri e scambiatori.

Abbigliamento e tessuti intelligenti: uniformi, stivali, indumenti, abiti di moda, tessuti non tessuti, artigianato, biancheria termica, polimeri a conduzione inerente, ginocchiere e maglie.

Sport: panni per tavoli da biliardo, abbigliamento da sci, ripieni e abbigliamento sportivo.

Manifatturiero: feltri, guarnizioni, cuscinetti, lenzuola e copripredili.

Medicinale: bende, bendaggi, tessuti per medicazione, antiferita.

Architettura e edilizia: isolamento, biancheria, tendaggi, coperte, moquette e tappezzeria.

In applicazioni tecniche e più specifiche le prestazioni della lana possono essere migliorate con l'utilizzo di aggiunte chimiche, come ad esempio quelle per il potenziamento della resistenza al fuoco o per l'eliminazione di insetti e microbi dalla cheratina (Faisal, Md Sohrab, Japareng, Marwan, Ali, Mardiana Idayu & Abdulbaki, 2020).

Quali sono le opportunità della lana?

- "La lana come materiale dalle molteplici applicazioni è un'opportunità per lo sviluppo della multifunzionalità agricola, come l'integrazione del reddito agricolo.
- L'assenza di filiera della lana per uso extratessile: opportunità per l'innovazione in produzioni ad altro valore aggiunto.
- Politiche UE e nazionali fortemente orientate al green building: normativa, strumenti di valutazione e incentivi disponibili per settore delle costruzioni bioedili.
- Materiali per la bioedilizia realizzati con materia prima naturale obbligatoriamente certificati per usi specifici (turismo, sanità ecc.)."⁽³³⁾

Nel settore dell'**edilizia**, le caratteristiche della lana vengono sfruttate nel campo dell'isolamento termico, acustico e regolazione dell'umidità evitando la formazione di condensa nella costruzione di edifici. La lana presenta un ottimo potere isolante contro l'abbattimento acustico riducendo il rumore fino al 50%. Questa caratteristica è dovuta all'ondulazione della singola fibra che è ricca, sinuosa e spiraliforme, ottenendo ottimi risultati già con uno spessore di 3 cm. Secondo lo studio "Progetto locale ecocompatibile di filiera di prodotto: pannelli isolanti innovativi in lana di pecora" di Bosia, Giordano e Savio del 2011, oltre a non generare CO₂ durante la sua produzione, "contribuisce ad assorbire ed eliminare CO₂ presente nell'ambiente circostante: 1 m³ di isolante in lana elimina circa 230 kg di CO₂, ovvero azzerà i costi ambientali che occorrono invece per realizzare altri isolanti energivori."⁽³⁴⁾ La lana quindi potrebbe essere un'alternativa poco dispendiosa per assorbire e limitare sostanze nocive come le polveri sottili e altre sostanze dannose all'uomo e all'ambiente.

In Sardegna, l'idea di utilizzare la lana come materiale isolante nasce dall'unione di 3 aziende che hanno dato vita all'impresa più conosciuta, ovvero Edilana, con l'intento di promuovere e valorizzare questo materiale a livello regionale e nazionale, producendo a chilometro zero senza emissioni di CO₂. In questo progetto non viene lavorata solo la lana, ma anche tutte le altre materie prime locali, le quali vengono trasformate per ottenere prodotti naturali per l'architettura, l'edilizia, l'arredo, l'interior design, nautica, aeronautica, impiantistica industriale e agricoltura.

(33) In [39] Riferimento sitografico

(34) Cariola, M., 2016, "Non solo tessile-abbigliamento: altri usi sostenibili della lana italiana", in: Pagliarino, E., Cariola, M. e Moiso, V., *Economia del tessile sostenibile: la lana italiana*, FrancoAngeli: Milano, p.154.

Inoltre, anche in Piemonte sono presenti diverse iniziative dove il concetto e gli intenti sono i medesimi e sono: MED-Laine, CARTONLANA (in collaborazione con il Politecnico di Torino) e WOOD4BUILD [39].

La lana sarda risulta molto resistente perché proveniente da una razza lattifera, il cui pelo è grossolano e ricco di cheratina ed assolutamente adatto alla produzione edilizia. Nell'industria del tessuto il pelo corto viene considerato uno scarto perché non può essere filato e viene spesso bruciato per ovviare i costi di smaltimento. Al contrario, il comparto edilizio lo considera come una risorsa da valorizzare e implementare. Il pelo corto è composto da un midollo molto spesso che consente un buon isolamento e un ottimo assorbimento di sostanze nocive. Inoltre, contiene la lanolina che assicura l'impermeabilizzazione e agisce in qualità di antimuffa. Il pelo corto è facile da lavorare e gestire riducendo le ore di lavoro e utilizzo di acqua. Date le caratteristiche della lana si classifica come un ottimo isolante, regolatore di vapore perché mentre assorbe il vapore si riscalda e viceversa. La lana è prodotta in pannelli o rotoli che possono essere posizionati all'interno di intercapedini, verticali o orizzontali, per l'isolamento del sotto tetto e dei solai contro il rumore da calpestio e per cappotti esterni in pareti ventilate, combinato con varie strutture. Per quanto riguarda l'isolamento del solaio è generalmente posizionato come sotto massetto o sotto parquet con uno spessore compreso fra i 4 e i 10 mm.

La messa in opera della lana è molto semplice perché, una volta posizionata può essere tagliata con la forbice o il coltello da tappezziere (Cariola, 2016).

Due esempi applicativi della lana utilizzata come materiale isolante solo i tappetini morbidi composti al 100% da lana di pecora con lo spessore da 4 a 6 cm, e i pannelli semi rigidi composti al 70/80% da lana e da un 20/30% da poliestere con uno spessore da 5 a 12 cm. I pannelli semi rigidi sono applicabili alle pareti come rivestimento grazie all'aggiunta di fibre di poliestere, le quali donano rigidità al composito (Faisal, Md Sohrab, Japareng, Marwan, Ali, Mardiana Idayu & Abdulbaki, 2020).

5.4 Strategia di produzione

Il pelo corto è una risorsa per l'industria edilizia, perché grazie alle sue caratteristiche è capace di ridurre o abbattere i costi energetici e garantisce a chi sceglie questo materiale buone prestazioni ad un costo conveniente [38].

Prima di combinare un fibra ad un altro materiale è importante comprendere quali siano le modalità di unione e di che tipologia siano le fibre utilizzate. Come possono essere posizionate le fibre all'interno di un composito? Di seguito riportate le diverse possibilità [Figura 5.3]:

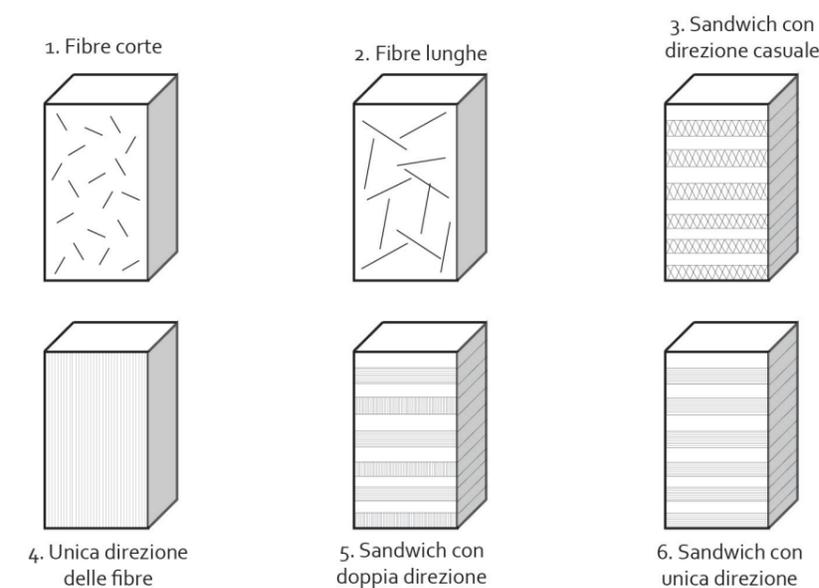


Figura 5.3: Posizionamento delle fibre in un composito

Fonte: Chaudhari, C. e Bhole, K. *A review on characteristics of natural fibre composite*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, p. 5. Rielaborazione dell'autore.

Come possiamo osservare in figura le fibre possono essere corte o lunghe e orientate in modo diverso al fine di ottenere prestazioni differenti.

Un composito rinforzato è fortemente influenzato da una serie di fattori: le proprietà della matrice, il legame fra matrice e fibra e le tecniche di combinazione e lavorazione. Purtroppo, a causa della scarsa aderenza, i compositi fibrorinforzati multistrato possono presentare cedimenti prematuri (Peças, Carvalho, Salman, Leite, 2018). Quando una fibra viene combinata ad un altro materiale è fondamentale la scelta matrice, la quale funge da filtro e difende

la fibra dall'ambiente esterno e dall'abrasione. Considerato che le fibre naturali si degradano ad alte temperature e sono instabili oltre i 2000 °C, sono comunemente utilizzate le matrici polimeriche che invece vengono trattate a basse temperature e sono leggere. Per questa ragione si utilizzano principalmente i materiali termoplastici e termoindurenti (resine). La relazione fra la matrice e la fibra è fondamentale perché influenza la resistenza meccanica del composto (Chaudhari, Chetan & Bhole, Kiran, 2020). Secondo tali osservazioni, consideriamo il sughero la matrice del nuovo composto e, poiché l'operazione di pressatura nel processo produttivo del sughero si svolge alla temperatura di 220°C, non causerà il degrado delle fibre di lana.

Le proprietà delle fibre dipendono dalla loro struttura e composizione, seguite dal processo di conservazione, estrazione e raccolta, ed infine dal trattamento. La resistenza meccanica delle fibre cresce all'aumentare del grado di umidità mentre, diminuisce all'aumento della temperatura. Un altro fattore che influisce sulle proprietà meccaniche del composto è la lunghezza della fibra, considerando il rapporto lunghezza della fibra su diametro della fibra. Generalmente la resistenza aumenta al crescere della lunghezza delle fibre, anche se l'eccessiva lunghezza delle fibre potrebbe causare una dispersione di queste ultime al momento della miscelazione riducendo drasticamente le prestazioni complessive del composto. Le fibre devono essere sufficientemente bagnate affinché l'adesione con la matrice sia completa e assicurata, evitando al composto problemi dal punto di vista dello stress. La bagnabilità della fibra può essere migliorata attraverso trattamenti chimici e fisici. Inoltre, l'unione fra la matrice e la fibra può essere determinata con l'impiego di un agente legante che elimina eventuali tensioni nel manufatto. Altra caratteristica è la porosità del composto, la quale è determinata dalla quantità di fibre e dalla modalità in cui vengono compattate (Chaudhari, Chetan & Bhole, Kiran, 2020).

I vantaggi di questo materiale non sono solo applicabili al prodotto finito, ma in precedenza al processo di produzione e trasformazione della materia prima estratta dai capi. Durante questo processo non avvengono fasi con prodotti chimici come la tintoria e meccanici come la filatura o l'orditura.

La seguente tavola racconta la produzione del pannello isolante in fibra di lana e le lavorazioni necessarie per ottenere un pannello di rivestimento composto da granulato di sughero e fibre di lana. La tavola è composta dal flow chat che racconta le fasi del processo produttivo di un pannello in fibra di lana, dal flow chat che racconta la fasi del processo produttivo del sughero e dal punto in cui i due materiali si incontrano per la creazione del nuovo prodotto (ibridazione). Per una migliore compressione i due processi produttivi sono evidenziati con colori differenti, così come le fasi del nuovo scenario, le quali forniscono indicazioni utili per la realizzazione del prodotto finito.

FLOW CHART PANNELLO IN FIBRA DI LANA

FLOW CHART SUGHERO



Il prelievo avviene grazie ai settori dell'abbigliamento, dell'arredamento e della tosatura.



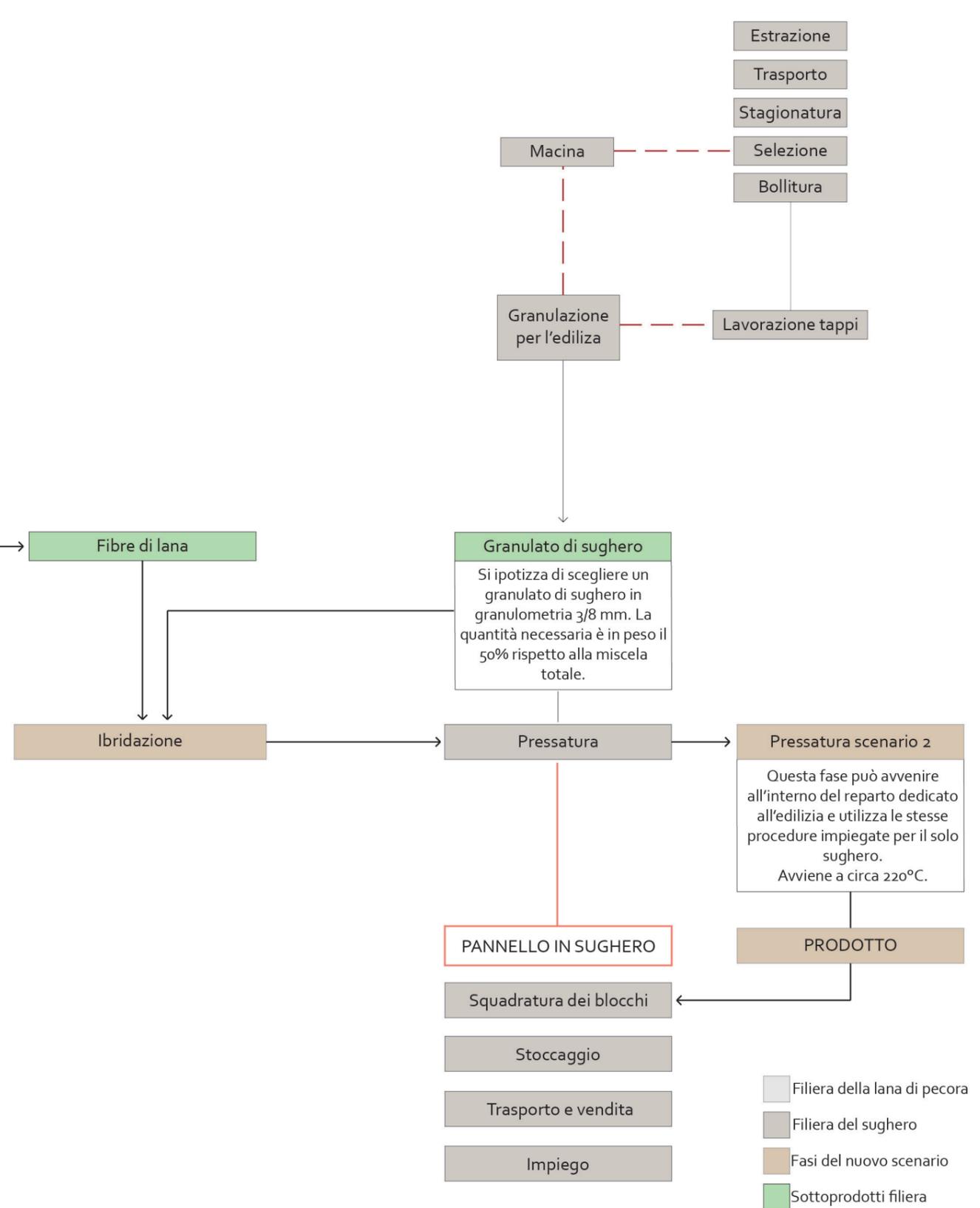
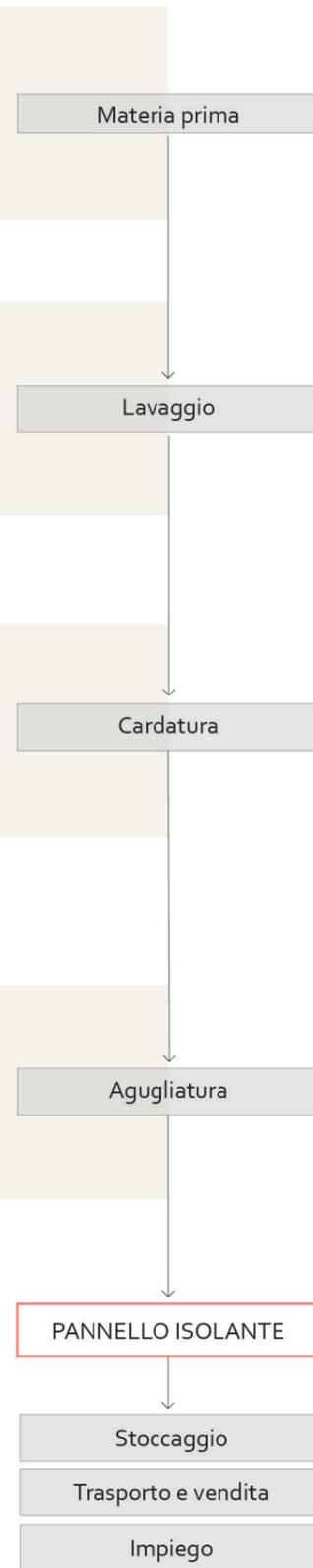
Avviene in tre passaggi in una soluzione composta da acqua e sapone a varie temperature (prima 60°C, poi a 35°C ed infine con acqua non riscaldata)



Avviene al termine del lavaggio e consiste nell'eliminazione delle impurità, dividendo e ponendo le fibre parallele, che renderanno le fasi successive più semplici. Avviene tra tre grandi cilindri muniti di spine metalliche perpendicolari al cilindro.



E' l'ultima fase di questo semplice processo ed è fatta grazie all'utilizzo di uno specifico macchinario costituito da una piastra e degli aghi lunghi 5 cm che si muove dall'alto verso il basso con una specifica velocità. Gli aghi posizionati sulla piastra sono 16.000 al metro quadro e consentono di riunire e compattare le fibre, e le successive stratificazioni di più strati.



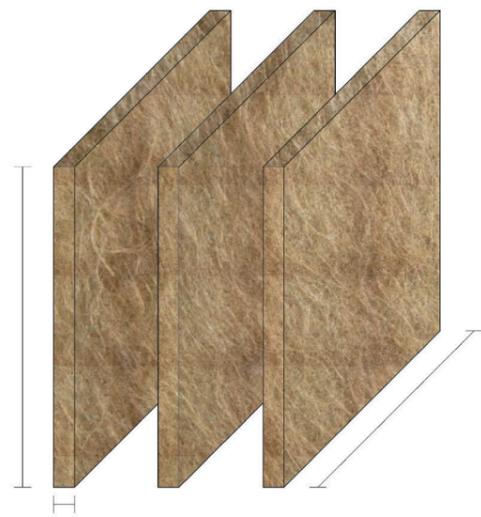
- Filiera della lana di pecora
- Filiera del sughero
- Fasi del nuovo scenario
- Sottoprodotti filiera

“PANNELLO ISOLANTE IN FIBRA DI LANA DI PECORA E SUGHERO”

Si tratta di pannelli creati dalla combinazione di sughero in granuli e lana di pecora, entrambi provenienti dalla filiera sarda e disponibili a chilometro zero. Questo prodotto è mirato e pensato per il ripristino di edifici allo scopo di migliorare le prestazioni complessive, oppure per nuovi interventi con una linea ispirata al contesto regionale.

Il dimensionamento dei pannelli è adattabile a seconda del tipo di progetto e richiesta.

Scheda tecnica riassuntiva:



Applicazioni	- Cappotti e rivestimenti
Formati e composizione	Spessori e dimensioni sono pensati e studiati in base ad interventi specifici.
Caratteristiche tecniche	- Leggerezza - Rigidità - Isolamento termico e acustico
Modalità di posa in opera	Applicabile come cappotto termico e a una sottostruttura in caso di rivestimento.
Caratteristiche ambientali	<input checked="" type="checkbox"/> Biodegradabile <input checked="" type="checkbox"/> Rigenerabile <input type="checkbox"/> Riciclato



CONCLUSIONI

6. Conclusioni

Questa tesi si interroga sul sughero, un materiale naturale, rinnovabile e versatile soprattutto se impiegato in edilizia, ma anche nel design, in campo biomedico ed infine in quello cantieristico. L'attività di ricerca mi ha permesso di delineare la realtà del sughero prima in un contesto regionale, ovvero quello della Sardegna, attraverso le interviste svolte sul campo, e poi, in un contesto internazionale attraverso la documentazione relativa alla letteratura scientifica sul tema. Tuttavia, i due step di ricerca principali hanno avuto all'interno di questo lavoro scopi diversi e di conseguenza risultati differenti. L'obiettivo delle interviste è quello di conoscere ed osservare, tramite lo sguardo attento di chi partecipa alla filiera, tutte le lavorazioni del processo produttivo e se, durante quest'ultimo, sono rintracciabili scarti che possono essere successivamente valorizzati. Dalle interviste agli estrattori e ai produttori emerge il dato più preoccupante relativo alla mancanza di materia prima. Tale limite mette in discussione l'intera produttività del comparto che lavora e trasforma solo una piccola percentuale di materia prima rispetto a quella che invece potrebbe essere trasformata. Durante la fase di ricerca relativa alla filiera in Sardegna è stato difficile definire una mappa che indicasse gli ettari effettivi di sugherete e le quantità di materia prima attualmente trasformate nella regione. Questo è dovuto principalmente al fatto che la letteratura scientifica a riguardo non è aggiornata, ma è datata. Inoltre, solo due delle aziende contattate si sono mostrate disponibili a dare risposta ai questionari da me proposti determinando così un campione ristretto di interviste. Nonostante ciò, le informazioni e i dati ricevuti sono stati confermati dalla bibliografia e da questo emerge che la situazione economica e tecnologica del sughero è stabile da anni. La manifattura sarda, se pur competitiva, ha necessità di rinnovarsi per poter progredire e proporre sul mercato prodotti competitivi e innovativi.

La ricerca in ambito internazionale ha invece generato una delle domande dalle quali prende le mosse questa tesi, ovvero come il sughero è stato e può essere combinato con altri materiali, determinando i cosiddetti compositi, e quali sono le possibili applicazioni in diversi ambiti. Lo studio della bibliografia scientifica è stato fondamentale per comprendere l'utilizzo dello sughero in ambito edilizio e le sue potenzialità nel mercato odierno, il quale si sta orientando verso un modello di produzione e consumo sempre più sostenibile.

La lettura di tali articoli, aggiunta ad una ricerca online, mi ha permesso di stilare le schede tecniche dei prodotti a base sughero. Queste schede riassumono le principali informazioni su brevetti e prodotti in commercio e sono state utili per lo sviluppo dei nuovi scenari, argomentati nella terza parte della tesi. Questo lavoro di ricerca ha l'obiettivo di offrire nuove riflessioni sul sughero e sulle sue applicazioni.

7.1 Prospettive per la sperimentazione futura

I due scenari proposti vogliono suggerire, almeno a livello teorico, due prodotti naturali realizzati dalla combinazione di materiali locali reperibili sul territorio sardo. La scelta di combinare il sughero con due materiali diversi, ovvero la terra cruda e la fibra di lana di pecora mira all'implementazione della materia prima, oggetto di questa tesi, che come sappiamo scarseggia. Inoltre, come mostra la ricerca, le lavorazioni del sughero sono limitate e si focalizzano principalmente nel confezionamento del tappo. Per tutte queste ragioni, per la realizzazione del blocco termo-isolante in terra cruda e sughero e del pannello di rivestimento in fibra di lana di pecora e sughero, si ipotizza di sfruttare i processi già esistenti e conosciuti dagli operai del settore. Per il completamento del primo materiale proposto, si ipotizza di utilizzare il processo produttivo della terra cruda con alcune variazioni affinché si possa ottenere il prodotto finale. Per quanto riguarda il secondo materiale proposto, si è pensato di sfruttare il processo produttivo del sughero ed in particolare la fase del pressatura e, anche in questo caso, con variazioni necessarie per ricavare il prodotto desiderato. In questo modo, si avranno due prodotti edilizi per applicazioni differenti: uno per il recupero e la riqualificazione di edifici storici in terra cruda e uno per l'isolamento e il rivestimento esterno.

Come anticipato, l'obiettivo di questo lavoro è quello di fornire una base teorica di partenza per due possibili potenziali prodotti a chilometro zero e avviare una sperimentazione di tipo pratico in collaborazione con le aziende, associazioni e cooperative già attive sul territorio sardo.

Per una sperimentazione efficace sarebbe opportuno impiegare il sughero sardo, caratterizzato da determinate proprietà, unito alla terra cruda e alla fibra di lana provenienti dalla stessa regione. Questo, in previsione di una sperimentazione pratica attendibile, ha costituito uno dei limiti principali, in quanto il trasporto di alcuni materiali, come ad esempio la terra cruda, risulta essere difficile e costoso.

La tesi ha rappresentato per me una modalità di approccio differente al sughero, materiale che da sempre mi circonda e mi affascina. Inoltre, è stata l'occasione per approfondire il tema dell'economia circolare ed in particolare dei materiali naturali, temi che, oggi, fanno sempre più parte del dibattito architettonico.

BIBLIOGRAFIA

7. Bibliografia

Testi:

- Achenza, M. e Sanna, U. (a cura di), *Il manuale tematico della terra cruda*, Regione Autonoma della Sardegna, 2008.
- Amirante, I., (a cura di) Gangemi V., *Architettura e tecnologia appropriata*, Volume 20 di Ricerche di tecnologia dell'architettura, FrancoAngeli, 1985.
- Cariola, M., "Non solo tessile-abbigliamento: altri usi sostenibili della lana italiana", in: Pagliarino, E., Cariola, M. e Moiso, V., *Economia del tessile sostenibile: la lana italiana*, FrancoAngeli: Milano, 2016.
- Decreto Legislativo 22 maggio 1999, n.194, "Attuazione della direttiva 96/74/CE relativa alle denominazioni del settore tessile", Gazzetta Ufficiale .n.146 del 24 giugno 1999.
- Guarnaccia, F., *Sughero*, Isia, Firenze, 2015.
- ISTAT, *Statistiche Forestali*, 1994.
- Regione Autonoma della Sardegna, *Industria, artigianato e servizi. Comparto del sughero*, Allegato 3.2, Por Sardegna 2000-2006, Aprile 2006.
- Regione Autonoma della Sardegna, *Istituzione della stazione sperimentale del sughero*, Legge regionale 06 febbraio 1952, n. 5
- Sanna, A. e Atzeni, C. (a cura di), *I manuali di recupero dei centri storici della Sardegna, architettura in terra cruda dei Campidani, del Cixerri e del Sarra-bus*, Regione Autonoma della Sardegna, 2009.
- Tola, A., *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*, Franco Angeli, 2012.
- Vinaccia, G. *Gli Agglomerati Di Sughero Nell'Edilizia Moderna La Tecnica Moderna Dell'Isolamento Termo- Acustico*. Roma: USILA, 1940. Print. Pubblicazioni Tecniche Della Confederazione Fascista Degli Industriali.

Articoli scientifici:

- Allafi, F., Hossain, Md., Lalung, J., Shaah, M., Salehabadi, A., Ahmad, M., Shadi, A. *Advancements in Applications of Natural Wool Fiber: Review*, Journal of Natural Fibers, 2020.
- Chaudhari, C. e Bhole, K. *A review on characteristics of natural fibre composite*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering., 2020.
- Chunhua, Z., Liangjun, X., Jiajing, Z., Xin, L., Xu, W. *Utilization of waste wool fibers for fabrication of wool powders and keratin: a review*. Journal of Leather Science and Engineering, 2020.
- Correia-da-Silva, J., Pereira, J., e Sirgado, J. *Improving rammed earth wall thermal performance with added expanded granulated cork*. Architectural Science Review, 2015.
- Correia-da-Silva, J.J. e Pereira, J. *Improving Thermal Performance of Rammed Earth Walls Using Expanded Granulated Cork*. Proceedings of CISBAT 2013 International Conference. Lausanne, 4/6 September 2013, pp. 157-162.
- Cucchi C., *Su alcuni popolamenti di Quercus suber L. in provincia di Genova*, L'Italia Forestale e Montana, n.6, 1967.
- Cutini, A., Muscas, F., Carta, V., Casula, A., Dettori, S., Filigheddu, M.R., Maltoni, S., Pignatti, G., Romano, R., 2019. *Analisi e proposte per la valorizzazione della sughericoltura e della filiera sughericola italiana*. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma, 2020.
- Delgado, M. e Cañas, Ignacio. *Earth building in Spain*. Construction and Building Materials - CONSTR BUILD MATER, 2006.
- Dettori, S., Filigheddu, M., Muroli, A., Puxeddu, M., Deplano, G., *Quantità e qualità delle produzioni sughericole regionali*, 2008.
- Dettori, S., e Filigheddu, M. *Alla ricerca della qualità nella filiera sughero-vino*, a cura di Sandro Dettori e Maria Rosaria Filigheddu: [atti del convegno], 2013.
- Di Cosmo, L. *Note sulla distribuzione della quercia da sughero (Quercus suber L.) in Provincia di Viterbo*. Monti e Boschi, 2000.
- Fernandes, E., Correlo, V., Mano, J.F., Reis, R.L. *Natural Fibres as Reinforcement Strategy on Cork-Polymer Composites*. Materials Science Forum, 2013.
- Fontana, L. *Costruire in terra cruda-Studi e ricerche per un cantiere di auto-costruzione*, Genova, 2006.
- Gandini, A., Neto, C., Silvestre, A. *Suberin: A promising renewable resource for novel macromolecular materials*. Progress in Polymer Science, 2006.
- Gil, L. *Cork Composites: A Review*. Materials, 2009.
- Gil, L. *Cork: sustainability and new applications*. In: Frontiers in Materials, 2015, Vol. 1, article 38, p. 1-3
- Gil, L. *Cork: a strategic material*. In: Frontiers in Chemistry, 2014, Vol. 2, Article n° 16, p.1-2.
- Giuffrida, G., Caponetto, R., Cuomo, M. *An overview on contemporary rammed earth buildings: technological advances in production, construction and material characterization*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019.
- Guettala, S., Bachar, M., Azzouz, L. *Properties of the Compressed-Stabilized Earth Brick Containing Cork Granules*. Journal of Earth Science and Climatic Change, 2016.
- Hoto, R., Furundarena, G., Torres, J.P., Muñoz, E., Andrés-Esperanza, J., Garcia-Manrique, J. *Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core*. Materials Letters, 2014.

- Le Barbenchon, L., Kopp, J.B., Girardot, J., Viot, P. *Reinforcement of cellular materials with short fibres: Application to a bio-based cork multi-scale foam*. Mechanics of Materials, 2020.
- Karade, S., Irle, M., Maher, K., Caldiera, F. *Cork granules as lightweight aggregate*. In Dhir, R.K., Dyer, T.D., Halliday, J.E. *Sustainable Concrete Construction*, Thomas Telford, London, 2002, pp.253-262.
- Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J., Pereira, H. *Cork as a building material: a review*. European Journal of Wood and Wood Products, 2016.
- Maia Pederneiras, C., Veiga, M., Brito, J. *Rendering Mortars Reinforced with Natural Sheep's Wool Fibers*. Materials, 2019.
- Marques, B., Tadeu, A., Antonio, J., Almeida, J., Brito, J. *Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products*. Construction and Building Materials, 2019.
- Mestre, A., Gil, L. *Cork for sustainable product design*. In: Ciência e Tecnologia dos Materiais, 2011, vol. 23, nº 3-4, p. 52-63.
- Oliveira, V., Rosa, M.E. & Pereira, H. *Variability of the compression properties of cork*. Wood Sci Technol 48, 2014, pp.937-948.
- Wilton, O., Howland, M. *Cork Construction Kit*, The Journal of Architecture, 2020.
- Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., Leite, M. *Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review*. J. Compos. Sci, 2018, 2, 66.
- Pereira, H. *The rationale behind cork properties: A review of structure and chemistry*, BioRes, 2015.
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., Gabarrell Durany, X. *Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in Southern Europe (Catalonia - Spain)*. Journal of Cleaner Production - J CLEAN PROD, 2011.

- Sen, A., Quilhó, T., Pereira, H. *The cellular structure of cork from Quercus cerris var. cerris bark in a materials' perspective*, Industrial Crops and Products, 2011.
- Silva, S.P., Sabino, M.A., Fernandes, E.M., Correlo, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L. *Cork: properties, capabilities and applications*, Maney Publishing, 2005.
- Sierra-Pérez, J., García-Pérez, S., Blanc, S., Boschmonart-Rives, J., Gabarrell, X. *The use of forest-based materials for the efficient energy of cities: Environmental and economic implications of cork as insulation material*, Sustainable Cities and Society, Volume 37, 2018.
- Thoms, E. *Could Cork Be Nature's Answer to Our Environmental and Construction Needs?*, in Archidaily, 2017.

Tesi consultate:

- Achille, A. *Il Sughero per Un Intervento LowTech Un Intervento Di Riqualificazione Termica Di Un Edificio Storico Mediante L'uso Del Sughero*, 2014. Print
- Asproni, G. *Studio Di Uno Stabilimento Industriale per La Lavorazione Del Sughero*, 1999. Print
- Bavetta, F., Tomassini, A. *Life Cycle Assessment E L'impatto Ambientale in Edilizia: Analisi LCA Di Pacchetti Di Involucro Con Materiali Innovativi. = Life Cycle Assessment and Environmental Impact in Construction: LCA Analysis of Envelope Packages with Innovative Materials*, 2018. Web.
- Bocci M. *Una visuale sull'architettura di terra tra Europa e Brasile = A view of earth architecture between Europe and Brazil*, 2018. Web.

- Cavagnuolo, L. *Valutazione dell'attendibilità del databas worldclim e applicazione al caso della quercia da sughero (Quercus Suber L.) italiana, 2000.* Web.
- Serra, G. *Osservazioni sull'entomofauna dannosa alla produzione di sughero, 2012-13.* Web.
- Sodano, M. *Valutazione delle prestazioni ambientali di un rivestimento isolante termoacustico attraverso la metodologia LCA, 2014.* Web.

Articoli di giornale:

- Madeddu, D. Il sughero sardo non riprende la sua corsa. Nuovi licenziamenti in Gallura, Sole24 Economia, 27 aprile 2017. (<https://www.ilsole24ore.com/art/il-sughero-sardo-non-riprende-sua-corsa-nuovi-licenziamenti-gallura-AEs1liCB>)
- Romano, M. "La produzione del sughero verso l'edilizia", in Innovazione, Sole24ore Economia, 14 gennaio 2020. (<https://www.ilsole24ore.com/art/la-produzione-sughero-l-edilizia-ACfQStBB>)
- *Sughero e riciclo, un grande lavoro lo fanno i bambini.* La Nuova Sardegna, 30 giugno 2016. (<https://www.lanuovasardegna.it/olbia/cronaca/2016/06/30/news/sughero-e-riciclo-un-grande-lavoro-lo-fanno-i-bambini-1.13748740>)

Sitografia:

- [1] <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>
- [2] <http://clmr.infoteca.it/bw5net/ShowFileAS.ashx?Filename=lwNDLXr-LT%20d86fddjq1guwjYICFZZAqw9/8JjPuB8lij7XuMbiAauavethFftKB7>
- [3] <http://www.prefabbricatisulweb.it/guida/materiali-per-la-bioedilizia-il-sughero-e-un-isolante-naturale.html>
- [4] <https://www.sughero24.it/> Le proprietà del sughero
- [5] <https://www.architetturaecosostenibile.it/> Il sughero come isolante termico. I vantaggi di un materiale naturale
- [6] <https://www.giarasardegna.it/it/content/sugherete-e-sughero> Sugherete e sughero
- [7] <https://www.edilsughero.it/> Lavorazione del sughero biondo
- [8] <http://www.intravino.com/> Come si producono i tappi in sughero
- [9] <https://www.tecnosugheri.it/sughero-corkpan-isolante-naturale/> Sughero Corkpan, l'isolante naturale
- [10] https://www.amorimcorkitalia.com/img/Amorim_Company_profile.pdf Amorim Company Profile-L'industria del sughero nel Mediterraneo
- [11] <https://www.icribis.com/it/> La manifattura del sughero in Sardegna
- [12] https://www.amorimcorkitalia.com/img/Amorim_Company_profile.pdf Amorim Company Profile-L'industria del sughero in Italia
- [13] <https://www.tecnosugheri.it/wp/wp-content/uploads/2015/03/Approfondimento-4.pdf> Approfondimento tecnico, Diffusione della quercia e origine del sughero, Tecnosugheri, 2015.

- [14] <https://www.marcatrace.net/>
La marcatura CE dei materiali e dei prodotti da costruzione
- [15] <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/8%252F1%252Fe%252FD.4be57df8ef6744c91fa7/P/BLOB%3AID%-3D19629/E/pdf>
La sughericoltura nell'attuale quadro normativo, Workshop Azioni e programmi per la valorizzazione della sughericoltura, Roma 9 ottobre 2018.
- [16] https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2016/01/Manual_Rolhas_IT.pdf
- [17] <https://www.apcor.pt/en/cork/recycling/> PIATTAFORMA
- [18] <http://www.greencork.org/o-projecto/>
- [19] <http://reciclasorchoreciclasvida.blogspot.com/>
- [20] <https://recyclage.planeteliege.com/>
- [21] <http://www.ecobouchon.com/>
- [22] <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/aktionen-und-projekte/korkkampagne/>
- [23] <https://natuerlichkork.de/genuss/>
- [24] <http://www.recycork.be/>
- [25] <https://recorkeduk.org/>
- [26] <https://recork.com/us/en>
- [27] <http://www.corkforest.org/cork-reharvest/>
- [28] [https://www.gamberorosso.it/notizie/notizie-vino/dai-tappi-ai-progetti-di-riciclo-la-via-del-sughero-secondo-amorim/\)](https://www.gamberorosso.it/notizie/notizie-vino/dai-tappi-ai-progetti-di-riciclo-la-via-del-sughero-secondo-amorim/)

- [29] <https://www.amorimcorkitalia.com/img/etico-progetto.pdf>
- [30] <https://www.ambiente.it/informazione/notizie/consorzio-rilegno-tappo-achi/>
- [31] <https://www.envi.info/blog/2013/05/10/riciclare-il-sughero-scopriamo-il-progetto-tappoachi/>
- [32] <https://www.anffastorino.it/progetto-tip-tapp-per-riciclare-tappi-di-sughero/>
- [33] <http://www.regione.sardegna.it/j/v/86?v=9&c=72&s=1&file=1998029>
Tutela e valorizzazione dei centri storici della Sardegna, Regione Autonoma della Sardegna
- [34] <http://architetturedallaterra.it/tecniche-costruttive-in-crudo-dalla-tradizione-allinnovazione/>
- [35] https://www.regione.sardegna.it/documenti/1_244_20090416182652.pdf
Disciplinare di produzione, Tessitura artigiana – Sardegna, Regione Autonoma della Sardegna
- [36] https://www.regione.sardegna.it/documenti/1_434_20160222111432.pdf
Buone pratiche di sostenibilità ambientale, Regione Autonoma della Sardegna.
- [37] <http://www.lanatura.eu/sites/default/files/Relazione%20finale%20Valent.pdf>
- [38] <https://www.yumpu.com/it/document/read/15082840/approfondimenti-edilanapdf-rio-20>
- [39] <http://www.politichepiemonte.it/argomenti/colonna2/industria-e-servizi/555-prospettive-sostenibili-per-applicazioni-non-tessili-della-lana-italiana>
- [40] http://www.icmlking.it/files/Fibre-tessili-Techno_short.pdf

