



Elaborato finale per il conseguimento
della Laurea in Ingegneria aerospaziale

Valutazione comparativa di materiali isolanti basati su fibre sintetiche e fibre naturali

Candidato: Fabrizio Ricci
Matricola: 1472745

Relatore: prof. Claudio Scarponi
SSD: Tecnologia delle Costruzioni Aereospaziali (ING-IND/04)

Abstract. In questa valutazione comparativa si vogliono mettere in risalto le migliori prestazioni dell'utilizzo di fibre naturali piuttosto che di fibre sintetiche nell'isolamento termico degli aeroplani di uso civile. La valutazione esamina la produzione dei principali materiali isolanti minerali quali la fibra di vetro e la lana di roccia, per poi passare ad analizzare le catene e i metodi di produzione delle fibre naturali come la canapa e il sughero. L'ultimo studio che sarà effettuato è volto alla comparazione in termini di peso e di guadagno economico tra il materiale attualmente in uso, ossia la fibra di vetro, e il materiale da me proposto ossia la fibra di canapa.

1. Introduzione

Lo studio è rivolto a individuare soluzioni alternative agli attuali materiali isolanti utilizzati in campo aeronautico.

I materiali attualmente in uso, per l'isolamento dell'aviazione civile, sono la lana di roccia e la fibra di vetro. I vantaggi delle fibre naturali rispetto alle fibre sintetiche sono molteplici. La produzione delle fibre sintetiche comporta l'utilizzo di forni a induzione elettromagnetica che producono calori molto elevati ciò sta a significare che per produrre 1500°C abbiamo bisogno di molta energia elettrica spesso non generata da fonti rinnovabili. I materiali isolanti sintetici, a fine del loro scopo, sono difficilmente smaltibili giacché vengono ritenuti rifiuti speciali non pericolosi. Sono infatti in corso

studi avanzati che dimostrano quanto questi minerali siano cancerogeni.

Le fibre naturali quali la canapa, il cocco, il lino, la juta e il kenaf invece, hanno un processo di lavorazione molto più ecologico e la loro produzione non ha bisogno di forni. Gli isolanti naturali hanno bisogno di filiere che dividono le fibre attraverso il passaggio in vasche con acqua e con macchine separatrici. Il dato esaltante dell'utilizzo delle fibre naturali è il loro peso molto inferiore alle fibre minerali. Va considerato che il peso specifico del vetro è compreso tra 2.4-2.7 kg/dm³ mentre per la canapa il peso specifico è di 1.48 kg/dm³ la differenza di peso è abbastanza marcata.

L'isolamento termico con fibre naturali è una nuova frontiera già applicata nell'edilizia un po' meno in ambito



aeronautico dove trova ancora poco spazio. Le problematiche dell'utilizzo degli isolanti naturali in ambito aeronautico sono dovute alla loro facile infiammabilità.

Per ovviare a tale problema ho pensato due possibili soluzioni, la prima di impregnare le fibre di isolante naturale con una resina fenolica ininfiammabile, la seconda di rivestirle con un materiale ignifugo.

Il risparmio che tale tecnologia può portare, nell'ambito dell'aviazione civile, oltre allo smaltimento meno costoso di fine vita del materiale, a un risparmio di carburante lungo tutta la vita dell'aeromobile poiché ad un minor peso degli isolanti corrisponde un risparmio di carburante durante le ore di volo.

I materiali che prenderemo in esempio nella conclusione saranno la lana di vetro e la canapa utilizzando come dimensioni un Boeing 787/10.

Analizzeremo la fibra di canapa poiché è di facile reperibilità nel mercato europeo.

La seguente analisi è uno studio semplificato giacché le fibre naturali andrebbero testate secondo la normativa dell'ente certificatore prima di essere installate sull'aereo.

Ricordando che l'energia più pulita in assoluto è l'energia che non viene consumata.

2. Isolanti Minerali

S'intendono per isolanti minerali i prodotti isolanti che hanno origine da vetro e rocce.

Gli isolanti minerali, in cui rientrano la lana di roccia e la fibra di vetro, sono parte di un gruppo più ampio denominato FAV (Fibre Vetrose Artificiali) fra i quali:

- Fibre di vetro a filamento continuo (tessile);
- Fibre di vetro per scopi speciali (materiale di rinforzo)
- Fibre Ceramiche Refrattarie (utilizzate nell'industria automobilistica e aeronautica).

A loro volta le FAV fanno parte del più ampio gruppo delle MMMF (Man Made Mineral Fibres).

Le FAV si differenziano tra di loro per proprietà fisiche e composizione chimica; in quest'ultima assume importanza il contenuto di ossidi alcalini e alcalino-terrosi. Le lane minerali, al contrario delle FCR, sono caratterizzate da elevate concentrazioni di tali ossidi.

Le loro caratteristiche tecniche consistono in una massa volumica variabile da 10 a 500 kg/m³ e da una conducibilità termica compresa tra 0.03 e 0.04 W/m*K.

Le temperature massime d'impiego sono tra 150°C e 1000°C ed hanno un buon comportamento al fuoco.

In aeronautica la lana di roccia e la lana di vetro sono le più comunemente utilizzate.

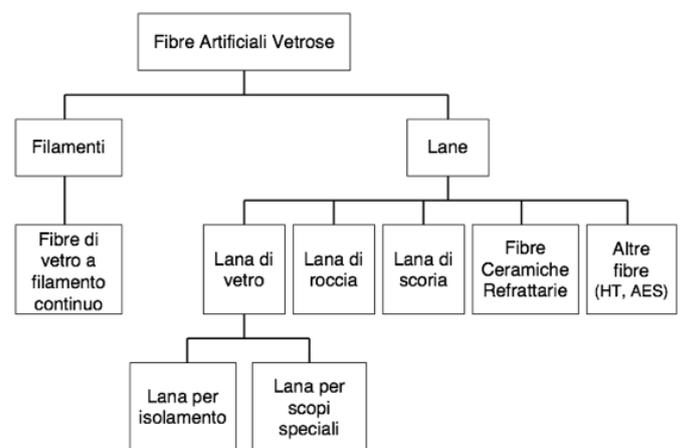


Fig.1 – Classificazione isolanti minerali

2.1 Fibra di vetro (lana di vetro)



Fig. 2 – Rotolo di lana di vetro

Il procedimento fabbricazione della lana di vetro si avvale delle seguenti fasi:

- Composizione del vetro nel forno (sabbia, carbonato e solfato di sodio, solfato di potassio, dolomite, più altri materiali in precise proporzioni e con mescolazione perfettamente omogenea).



- Fusione: il composto viene introdotto in un forno a riscaldamento elettrico alla temperatura di 1400°C circa, dove fonde. Successivamente, il magma sfuso, attraverso i canali di alimentazione del forno raggiunge le unità di fabbricazione.
- Produzione delle fibre: la trasformazione del vetro fuso in fibre avviene mediante il passaggio attraverso i fori di una coppa rotante. Dopo un primo stiramento meccanico orizzontale dovuto alla forza centrifuga, le fibre sono tirate verticalmente sotto l'azione termica e meccanica di un fluido.



Fig. 3 – Fibraggio lana di vetro

- Realizzazione dei prodotti: dopo il fibraggio, le fibre vengono appretate con particolari resine e convogliate su nastri trasportatori, sono poi passate in stufa ad aria calda, alla temperatura di circa 250°C, dove avviene la polimerizzazione delle resine. La velocità di marcia dei nastri trasportatori ed il loro distanziamento regolabile all'interno della stufa permettono di definire la densità e lo spessore dei manufatti.
- Fase finale di accoppiamento con eventuali supporti di rivestimento, di taglio, rifinitura ed imballaggio.

Il processo di produzione della lana di vetro è fortemente automatizzato e prevede un severo controllo di qualità sulle materie prime in fase di produzione e sul prodotto finito.

La tecnologia attuale di produzione della lana di vetro consente di ottenere un prodotto ottimizzato sotto molteplici aspetti. Oltre ai noti requisiti di isolamento termico ed acustico, la lana di vetro possiede altre caratteristiche essenziali strettamente legate alla sua origine, composizione e struttura. Fra queste, ricordiamo:

- ottima resistenza al fuoco;
- stabilità dimensionale e funzionale al variare della temperatura e dell'umidità relativa;
- idropellenza e resistenza all'umidità;
- elevato range di temperature di utilizzo;
- imputrescibile;

Sul mercato è disponibile in pannelli, feltri, coppelle con o senza rivestimenti a seconda della specifica applicazione, o come lana sfusa.

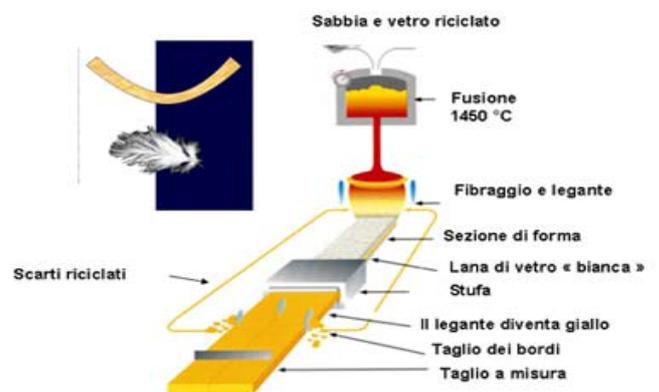


Fig. 4 – Processo di lavorazione lana di vetro



| | | | |
|---------------------|---|--------------------------|--------|
| Dati Tecnici | Conducibilità Termica | [W/m*K] | 0.032 |
| | Resistenza e compressione | [K*Pa] | 0.5 |
| | Resistenza al fuoco * | Euroclasse | A1 |
| | Densità | [Kg/m ³] | 11-100 |
| | Calore specifico | [KJ/Kg*K] | 850 |
| | Fattore di resistenza alla diffusione del vapore | [Kg/m ² h*Pa] | 9 |
| | * Dati relativi ad un prodotto generico | | |

Tab.1 – Caratteristiche tecniche lana di vetro

2.2 Fibra di roccia (lana di roccia)

La lana di roccia è composta per il 97% da diabase, basalto e dolomite. La roccia viene fusa a 1400°C e quindi filtrata in fibre minerali artificiali. Per ottenere una certa stabilità di forma le fibre vengono miscelate con il legante bakelite (resina fenolo-formaldeide) che solidifica a contatto con il flusso di aria calda. A seconda della stabilità meccanica necessaria, la percentuale di legante può variare tra il 1% e 4% in peso.

Il colore verde tipico della lana di roccia è dovuto al contenuto di ferro presente all'interno della lana.

I pannelli isolanti per facciata vengono inoltre sottoposti ad un trattamento impermeabilizzante con sostanze idrofobizzanti a base di siliconi e olii minerali.

Volendo riassumere le fasi salienti della produzione della lana di roccia è possibile quantificarle in cinque step, i quali sono molto simili alla produzione della lana di vetro:

- fusione delle rocce ad alta temperatura;
- filtraggio della materia fusa con medesimi procedimenti descritti per la fibra di vetro;

- feltratura del prodotto per ottenere una distribuzione uniforme delle fibre. Durante questa operazione normalmente si associa un legante (olio di lino o resina fenolica);

- polimerizzazione e indurimento con il legante;
- taglio rifinitura e imballaggio.

La lana di roccia ha buone proprietà termoisolanti, una buona resistenza all'invecchiamento e una stabilità di forma esauriente se il materiale isolante è protetto contro l'umidità. L'isolamento termico si compromette molto se l'umidità all'interno del materiale aumenta anche leggermente.

Come per la fibra di vetro la lana di roccia si presenta sia sotto forma di feltro, coppelle preformate che di pannello.

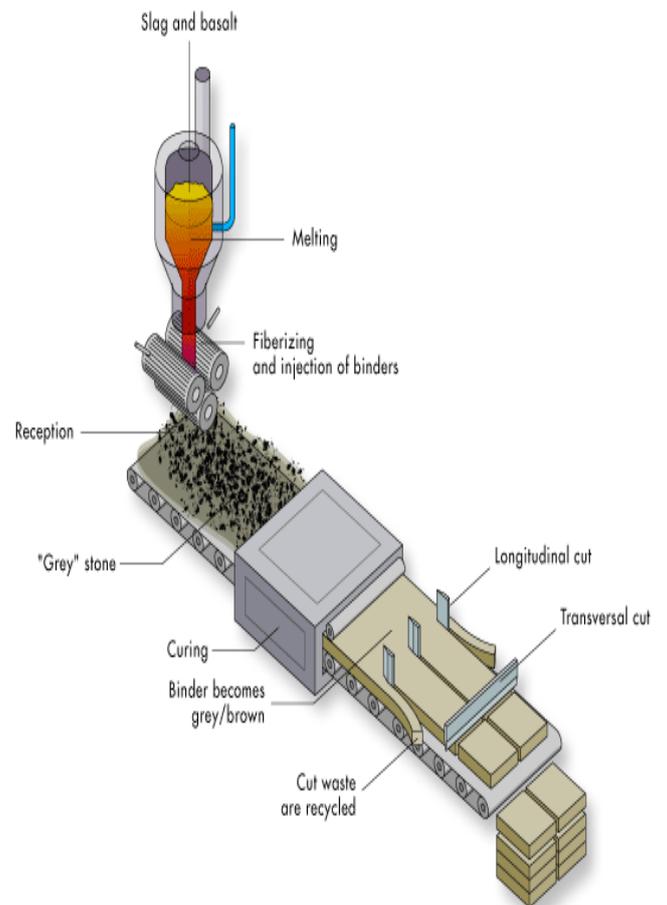


Fig. 5 – Processo produttivo lana di roccia



| | | | |
|---------------------|---|---------------------------|------------|
| Dati Tecnici | Conducibilità Termica | [W/m*K] | 0,037/0.04 |
| | Resistenza e compressione | [K*Pa] | 0.5 |
| | Resistenza al fuoco * | Euroclasse | A1 |
| | Densità | [Kg/m ³] | 40-180 |
| | Calore specifico | [KJ/Kg*K] | 840 |
| | Fattore di resistenza alla diffusione del vapore | [Kg/m ² *h*Pa] | 1* |
| | * Dati relativi ad un prodotto generico | | |

Tab. 2 – Caratteristiche tecniche lana di roccia

3. Isolanti vegetali

Gli isolanti vegetali sono materiali il cui elemento di base è di origine vegetale (sughero, fibra di canapa, fibra di lino, fibra di cocco, kenaf).

Le tipologie sono molto varie ed in grado di differenziarsi notevolmente tra loro, pur mantenendo caratteristiche di fondo proprie di questa grande famiglia di materiali.

Gli isolanti vegetali sono caratterizzati da una conduttività termica e una massa volumica abbastanza bassa, con valori compresi solitamente tra 100 e 500 Kg/m³ e 0.013 e 0.038 W/m*K; le caratteristiche dei vari prodotti sono in larga misura legate alla densità del materiale ed alla pianta di origine ed il comportamento al fuoco è variabile in base alla loro composizione.

Aspetto particolarmente importante è che, non essendo trattati con sostanze nocive, in caso d'incendio risultano essere meno nocivi rispetto agli isolanti sintetici poiché non rilasciano sostanze pericolose. Inoltre, il materiale in esame è in grado di sopportare senza alcun particolare

problema esposizioni ad elevati tassi di umidità essendo caratterizzato da un'elevata permeabilità al vapore quindi capace di una rapida asciugatura.

3.1 Fibra di canapa

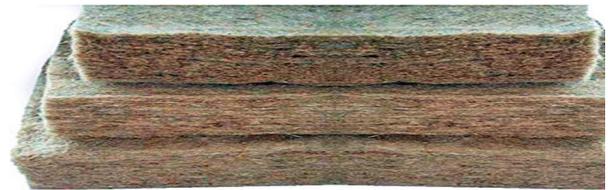


Fig. 6 - Lana di canapa

In merito alla fibra di canapa si evidenzia una produzione molto più lenta rispetto a quella delle fibre minerali difatti al momento non è possibile avere una produzione in serie.

Da qui in poi analizzeremo passo passo la produzione di un pannello di fibra di canapa.

La prima fase della lavorazione consiste nel ridurre la canapa in fibre della giusta dimensione e successivamente riporla in un silos.

Dal silos il materiale è convogliato in un essiccatoio dove, tramite apporto di calore, viene tolta l'acqua presente. Questo processo permette di conoscere esattamente il contenuto d'acqua del materiale in modo che, una volta combinato alla colla, si abbia il rapporto stechiometrico desiderato.

All'uscita dell'essiccatoio il materiale è stivato in un altro silos.

La fase seguente è quella del miscelaggio dei componenti. Dal silos le fibre passano in un miscelatore, dove vengono unite ad una colla bicomponente.

La colla bicomponente viene introdotta nel miscelatore tramite un apposito macchinario realizzato per svolgere unicamente questo scopo. Il macchinario riesce a dosare la giusta quantità di due componenti del collante che sono il poliolo e l'isocianato quindi si ottiene una lieve amidatura.

Da qui il lavorato è trasferito pneumaticamente in una formatrice per essere steso su un tappetino a rullo per formare il "materasso di materiale" da pressare. Questo viene ottenuto tramite plotter meccanico che scorrendo in



orizzontale getta le fibre sul tappeto rullante. E' in questa fase che è possibile definire la densità del pannello da produrre.

Una volta posto tale materasso nella pressa, il piano scende e lo comprime per un tempo definito a una temperatura di 200/230°C. La temperatura, nel caso dei pannelli in canapa, è necessaria per polimerizzare completamente la colla bicomponente.

Il pannello che esce dalla pressa è di dimensione molto grande 12x2,10 metri ed è dotato di una rigidità che non è quella definitiva ma che è sufficiente per essere lavorato. A tal punto è necessario rifinire i lati tagliando le parti di materiale in eccesso. Per ragioni di trasporto e di praticità infine è suddiviso in parti da 4x2,1metri ciascuna, che vengono sovrapposte poi a formare dei blocchi di dimensioni opportune.

SCHEMA PROCESSO PRODUTTIVO PANNELLO TRUCIOLARE

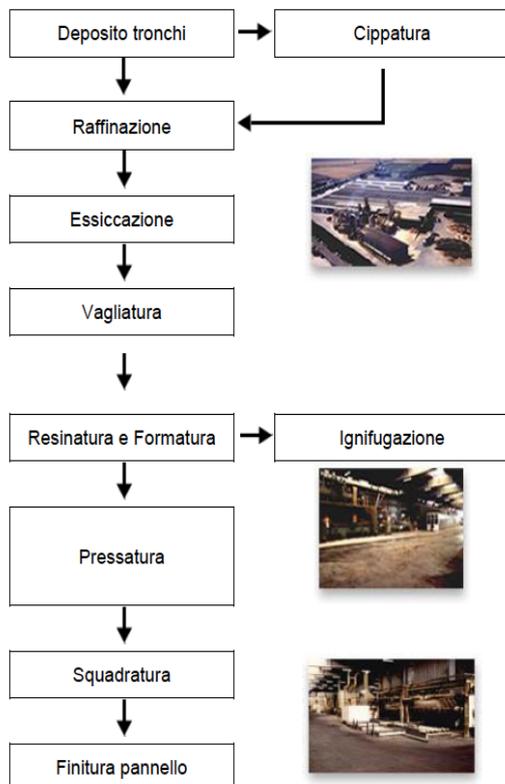


Fig 7 – Processo produttivo pannello lana di canapa

| | | | |
|--|---|--------------|---------------------|
| Dati Tecnici | Conducibilità Termica | [W/m*K] | 0,042 |
| | Resistenza e compressione | [K*Pa] | 100 |
| | Resistenza al fuoco * | Euroclasse | B2 (B1 se trattato) |
| | Densità | [Kg/m³] | 30-37 |
| | Calore specifico | [KJ/Kg*K] | 2,1 |
| | Fattore di resistenza alla diffusione del vapore | [Kg/m² h*Pa] | 4,381 |
| * Dati relativi ad un prodotto generico | | | |

Tab. 3 – Caratteristiche tecniche lana di canapa

3.2 Sughero



Fig.8 - Pannello in sughero

E' un materiale a struttura cellulare derivato dalla corteccia della quercia da sughero. Per l'isolamento, il sughero viene frantumato in granuli e successivamente espanso e agglomerato con legami naturali per costituire pannelli. Infatti, il sughero espanso si ottiene mediante cottura in forni a pressione dove il granulato viene riscaldato ad una temperatura di circa 380°C, in asse di aria; i granuli espansi vengono quindi depositati in apposite casse metalliche dove avviene il raffreddamento. Nella fase di cottura, la resina naturale contenuta nel sughero si libera in superficie, permettendo il processo di saldatura dei singoli granuli. Il materiale



viene poi fortemente compresso e ridotto in pannelli o elementi di dimensioni prestabilite.

Le caratteristiche di questo materiale sono di seguito riportate:

- buona tenuta all'acqua e agli acidi;
- può provocare sviluppo batterico con date condizioni di umidità;
- è combustibile ma non propaga la fiamma.

Queste particolarità fanno sì che il sughero sia un materiale da isolamento da non escludere in ambito aeronautico ma bisognerebbe ovviare al problema della sua alta densità.

| | | | |
|--|---|--------------|--------|
| Dati Tecnici | Conducibilità Termica | [W/m*K] | 0,040 |
| | Resistenza e compressione | [K*Pa] | 250 |
| | Resistenza al fuoco * | Euroclasse | E |
| | Densità | [Kg/m³] | 85-125 |
| | Calore specifico | [KJ/Kg*K] | 210 |
| | Fattore di resistenza alla diffusione del vapore | [Kg/m² h*Pa] | 5/30 |
| * Dati relativi ad un prodotto generico | | | |

Tab. 4 – Caratteristiche tecniche sughero

4 Studio comparativo

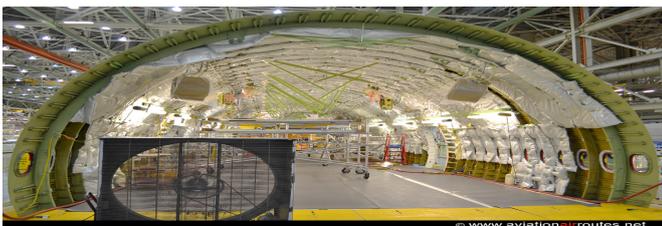


Fig. 9 – Sezione aereo Boeing

Volendo isolare termicamente un Boeing 787-10 sappiamo che lo spazio a disposizione sull'aereo per

questo scopo è di 0.125 metri di spessore tra fusoliera esterna e cabina interna, e che la lunghezza dell'aeromobile di circa 69 metri. Assimilando la cabina con un grande cilindro cavo riesco a ricavare il volume di materiale di cui si ha bisogno:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

$$V = \pi \cdot (0,125)^2 \cdot 69 = 3,385 \text{ m}^3$$

Successivamente ricavo il peso del materiale contenuto:
peso (f.vetro) = $V \cdot \text{peso specifico} = 3,385 \cdot 2700 = 9139,5 \text{ kg}$
peso (f.canapa) = $V \cdot \text{peso specifico} = 3,385 \cdot 1480 = 5009,8 \text{ kg}$
 Avendo riscontrato un peso molto minore dell'isolamento si può supporre di aggiungere altro materiale isolante nello spazio rimanente andando a colmare il problema dovuto a una minore conducibilità termica.

Poiché la fibra di canapa risulta meno densa rispetto alla lana di vetro possiamo colmare lo spazio con altro materiale ottenendo così anche un risparmio economico a carico del sistema di condizionamento.

5 Conclusione

L'uso delle fibre naturali fornisce una soluzione ecologica in termini di isolamento termico negli aerei sia dal punto di vista della sua produzione, in quanto non ha bisogno di lavorazione in forni, sia dall'ottica dello smaltimento finale. Un altro parametro a favore delle fibre naturali sulle fibre sintetiche consiste in un minor consumo di carburante considerato il minor peso.

Tuttavia le fibre naturali sono ancora poco usate per via delle problematiche legate al fuoco e per il minor costo delle fibre sintetiche sul mercato.

Costo lana di vetro 9 metri quadri circa 31€

Costo lana di canapa 1 metro quadro circa 13€.

6 Bibliografia

- [1] Chiara Aghemo, Cristina Azzolino. , "Il progetto dell'elemento di involucro opaco", edito da Celia.
- [2] Claudio Arcari, Fulvio Ferri., "Le Fibre artificiali vetrose: classificazione, esposizione, danni per la salute e misure di prevenzione.
- [3] Progetto Agro-Industriale della Canapa. All.1