

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Dipartimento di Architettura

Scuola di Dottorato in Architettura

Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura

XXV ciclo

Dottoranda: arch. Claudia Balestra

Tutors: prof. arch. Dora Francese

prof. ing. Giuseppe Mensitieri

anno accademico 2012/2013

I MATERIALI BIOCOMPOSITI IN ARCHITETTURA

IPOTESI DI PARTIZIONE INTERNA VERTICALE

INDICE

Premessa	pag.	6
1. Materiali innovativi e sostenibilità ambientale		
1.1 Evoluzione del rapporto <i>Materiale-Progetto</i>	»	9
1.2 Innovazione e green economy	»	15
1.3 Impatti ambientali dei materiali da costruzione	»	19
1.4 Strategie progettuali per la fabbricazione di prodotti ecosostenibili: Life Cycle Design	»	27
2. La ricerca nel campo dei biocompositi		
2.1 I compositi: definizione e settori d'applicazione	»	31
2.2 I biocompositi con fase dispersa fibrosa	»	36
2.2.1 I biocompositi tradizionalmente utilizzati in architettura		
2.2.2 I biocompositi a matrice polimerica	»	43
2.2.2.1 Il ruolo della fase di rinforzo e criteri di scelta delle fibre naturali		
2.2.2.2 Il ruolo della matrice e i materiali utilizzati		
2.2.2.3 I fattori che influenzano le proprietà dei biocompositi		
2.2.2.4 I metodi per il potenziamento delle proprietà specifiche		
2.2.2.5 I metodi di produzione		
2.2.3 Materiali cellulari: le schiume	»	69
2.2.4 Esame critico delle potenzialità ecosostenibili e biocompatibili dei biocompositi		
2.2.5 Ricerche e sperimentazioni in atto	»	76
2.2.5.1 Biocompositi biodegradabili con resina e fibre naturali		
2.2.5.2 Biocompositi a matrice polimerica e fibre naturali di rinforzo		
2.2.6 Applicazioni attuali e prospettive future	»	91
2.2.6.1 Prodotti per l'edilizia		
2.2.6.2 Prodotti di design		
2.3 Risultati della sperimentazione del materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf realizzata dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria di Napoli	»	108
2.3.1 Proposta per l'applicazione del materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf		
3. Analisi delle partizioni interne verticali		
3.1 Sistemi attualmente utilizzati nella pratica edilizia	»	122
3.2 Sistemi intelaiati. Assemblaggio, struttura e materiali	»	124
3.3 Studio degli elementi di completamento dei sistemi intelaiati	»	129
3.3.1 Pannelli di completamento		
3.3.2 Pannelli di completamento con texture tridimensionale		
3.4 Individuazione dei requisiti prioritari finalizzati alla salvaguardia ambientale	»	153
4. Ipotesi di partizione interna verticale		
4.1 Risultati delle prove aggiuntive effettuate sul materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf ed elaborazione dei dati	»	161
4.2 Progettazione del sistema	»	164
4.2.1 Struttura portante		
4.2.1.1 Il legno		

4.2.1.2 <i>Sistema di assemblaggio</i>		
4.2.2 <i>Isolante interno</i>	»	174
4.2.2.1 <i>Requisiti e prestazioni degli isolanti</i>		
4.2.2.2 <i>Isolante in lana di pecora</i>		
4.2.3 <i>Pannelli di completamento</i>	»	187
4.2.3.1 <i>Idea progettuale</i>		
4.2.3.2 <i>Componenti</i>		
4.2.3.3 <i>Fasi di montaggio</i>		
4.3 I risultati: prestazioni e possibili applicazioni	»	198
Conclusioni	»	205
Bibliografia		

Premessa

La ricerca intende indagare le potenzialità di applicazione di quei materiali biocompositi, oggetto di studio di altre discipline, quali l'ingegneria dei materiali, in campo edilizio. Materiali da fonti rinnovabili e/o con processo di smaltimento biodegradabile che possano sostituire l'utilizzo dei polimeri sintetico-artificiali, o di altri materiali, tossici per l'uomo e/o inquinanti per l'ambiente. Obiettivo primario di questo studio è quello di ottenere prodotti per l'edilizia con un processo di produzione de materializzato, cioè che riduca al minimo l'apporto di materia ed energia durante le fasi di produzione, che siano biocompatibili in tutte le fasi di vita e che prevedano un processo di dismissione a ciclo chiuso al fine di limitare gli impatti sull'ecosistema.

A seguito di un inquadramento dell'ambito culturale di riferimento il lavoro di ricerca è stato articolato in tre fasi.

Nella prima fase, analitico-conoscitiva, è stato approfondito lo studio dei materiali biocompositi a matrice polimerica con fase dispersa fibrosa e delle possibili *fasi* (o materiali) componenti al fine di individuarne i parametri prestazionali per l'applicabilità in architettura. A questo scopo sono state esaminate ed analizzate le applicazioni attuali in campo edilizio e nel mondo del design e le numerose ricerche in atto in vari paesi del mondo. Inoltre, grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria della Federico II, è stato possibile prendere parte al processo di produzione di un campione di biocomposito sperimentato dal gruppo di ricerca composto da E.Gallo, B.Schartel, D.Acierno, F.Cimino, P.Russo. I risultati della loro ricerca sono stati il punto di partenza della proposta progettuale.

La seconda fase attraverso lo studio delle partizioni interne verticali, delle tipologie attualmente utilizzate in architettura e dell'approfondimento dei sistemi intelaiati e degli elementi di completamento presenti sul mercato mira ad identificare i requisiti tecnologici per l'individuazione di una proposta per l'applicazione del materiale biocomposito. Tra questi sono stati evidenziati i requisiti ambientali prioritari che qualsiasi prodotto per essere considerato ecosostenibile deve garantire.

La terza fase mette a sistema le prime due delineando la proposta progettuale di una partizione interna verticale assemblata a secco, smontabile, le cui componenti siano reimpiegabili e realizzate con materiali ecosostenibili. Il materiale biocomposito studiato date le sue caratteristiche e soprattutto offrendo il vantaggio di essere realizzato mediante processi di produzione analoghi a quelli delle plastiche garantisce notevoli potenzialità estetiche come semilavorato di rivestimento. Inoltre essendo un materiale biodegradabile si pone come concorrente ideale rispetto a tradizionali prodotti di mercato nella strategia di ecosostenibilità.

1. Materiali innovativi e sostenibilità ambientale

1.1. Evoluzione del rapporto *Materiale-Progetto*

Il rapporto dell'uomo con la materia ha scandito la storiografia delle diverse epoche. Il ventesimo secolo è stato definito come l'età dei materiali. Questo perché l'uomo grazie alle conoscenze scientifiche attuali ha ribaltato il suo rapporto con la materia: mentre prima i materiali erano gli "a priori" del progetto, ora sono anch'essi oggetto di progettazione. Sin dalla preistoria l'uomo ha inventato strumenti e tecniche, diventati negli anni sempre più sofisticati, per modificare e plasmare la materia in manufatti ed architetture atte a soddisfare i propri bisogni. Erano le caratteristiche stesse dei materiali a guidare i progetti. Questa fase è stata definita da Manzini "a complessità subita"¹.



FIG. 1.1.1 – Esempio di *fase a complessità subita*. L'utilizzo della pietra comportava la creazione di archi e volte. Foto tratta da <http://www.blasiedilizia.it/costruzioni-edili-Ostuni-Brindisi-Puglia.html>

¹ *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, Manzini E., Edizioni Domus Academy, Milano, 1990.

Dalla rivoluzione industriale in poi e con l'integrazione della scienza tra i fattori produttivi vengono messi a punto strumenti di trasformazione e di conoscenza che rendono la materia "a complessità controllata". Si cerca, cioè, di produrre materiali perfetti, privi di impurità ed anisotropie. I nuovi come le plastiche, le leghe metalliche e il vetro rivoluzionano i linguaggi architettonici, introducendo il mito della leggerezza.



FIG. 1.1.2 – Esempio di *fase a complessità controllata*. L'utilizzo di acciaio e vetro rivoluziona il linguaggio architettonico. Nuova galleria nazionale, Mies van der Rohe, 1968, Berlino. Foto tratta da <http://www.berlin.de/orte/museum/neue-nationalgalerie/index.it.php>

Ma è con le attuali conoscenze che l'uomo può arrivare a manipolare la materia nella sua struttura molecolare. Un traguardo che determina il passaggio alla fase della "complessità gestita" dei "materiali immateriali" che in questo modo si sottraggono alla definizione di materia inerte, resistente alle trasformazioni. E' in questo contesto che la progettazione dei materiali inizia a guardare ad un nuovo paradigma, partendo da una diversa consapevolezza: la rapida obsolescenza della materia esatta deriva dall'identità delle sue prestazioni con la sua essenza (Bachelard), cioè non ha un rapporto attivo con l'ambiente. Mentre la caratteristica di ridondanza dei materiali a priori permette l'adattabilità ai mutamenti che avvengono nel tempo.

Il nuovo paradigma, quindi, risiede nell'imitazione della natura, delle sue logiche di funzionamento e delle sue dinamiche comportamentali. Una natura la cui essenza è nella complessità. Le scoperte avvenute sin dall'inizio del '900, la teoria

della relatività e la teoria quantistica, la nascita del concetto di olistico e la teoria dei sistemi, la nascita della cibernetica e gli studi di Prigogine hanno provocato una rivoluzione scientifica ed epistemologica. Alla scienza newtoniana delle leggi assolute e della prevedibilità dei fenomeni si sostituisce la scienza della complessità che concentra i suoi sforzi nella comprensione delle dinamiche di interrelazione tra tutti gli elementi. Qualunque prodotto della creatività dell'uomo, come qualunque elemento che esiste in natura, non può sottrarsi all'interazione con tutti gli altri. E' in questo senso che va la ricerca nel campo dei materiali, e più in generale della tecnologia e dell'architettura. La parola chiave diventa organicità: ricreare quella complessità sistemica che può rendere anche l'artificiale capace di reagire alle mutazioni dell'ambiente esterno. L'artificiale diventa sensibile o cambia nel tempo.

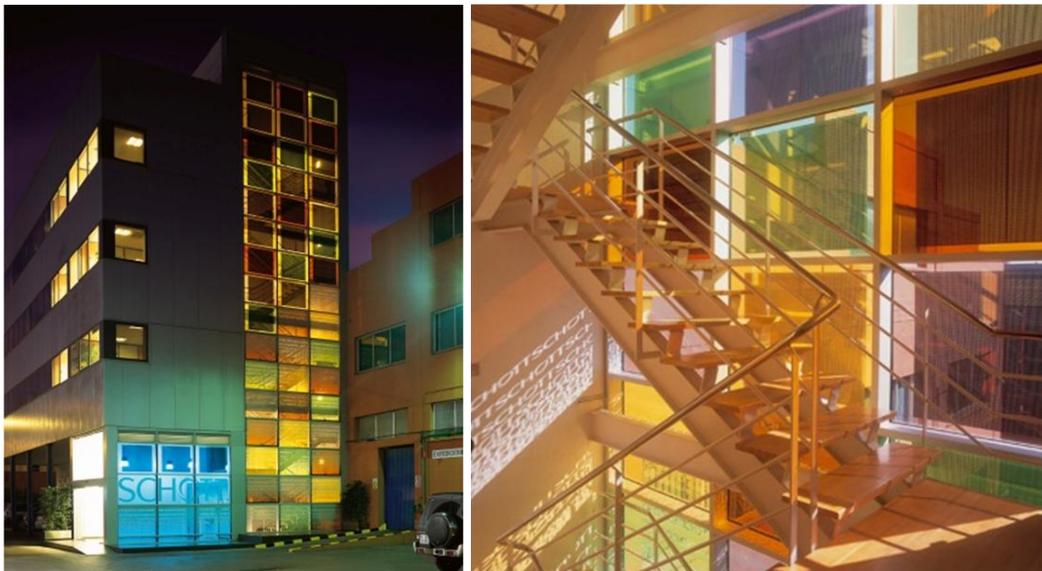


FIG. 1.1.3 – Esempio di *fase a complessità gestita*. Il fotovoltaico organico imita le dinamiche comportamentali esistenti in natura, basate sulla fotosintesi clorofilliana. Edificio Schott Iberica, Madrid (Spagna), 2006.

Questi materiali innovativi contribuiscono all'ideazione di componenti edilizi nuovi o al potenziamento delle prestazioni di quelli tradizionali. Esplicita risulta la definizione di materiali avanzati di Michael Bever nel testo *The Encyclopedia of Advanced Materials* del 1994, "quei materiali in cui la caratteristica principale riguarda la capacità di sintesi e di controllo della struttura del materiale al fine di ottenere un preciso insieme di proprietà su misura, finalizzate ad applicazioni su richiesta". Numerosissimi studi riguardano anche l'ottimizzazione delle prestazioni in chiave eco-orientata dei materiali tradizionali, ad esempio il cemento, ma non solo, attraverso le nanotecnologie può diventare foto catalitico cioè capace di degradare gli inquinanti presenti nell'aria e nella pioggia.



FIG. 1.1.4 – Esempio di *fase a complessità gestita*. I vetri cromogenici imitano le dinamiche comportamentali esistenti in natura, cambiano nel corso della giornata diventando opachi alle radiazioni luminose incidenti. http://www.casaglam.com/materiali/arredare_con_il_vetro/vetri_high_tech.php

Ma il trasferimento delle logiche della natura è ancora più esplicito nei biopolimeri che sono materiali plastici prodotti da materie prime naturali, ad esempio cereali o zucchero. Essi hanno quindi un processo di generazione industriale mentre il processo di dismissione è organico. Sono cioè a ciclo chiuso. Un requisito molto auspicato poiché contribuisce a minimizzare l’impatto dei prodotti sugli ecosistemi riducendo il carico di rifiuti. E’ per questo motivo che la progettazione delle componenti edilizie e delle soluzioni tecniche si indirizza sempre più verso l’ideazione di elementi assemblati a secco scomponibili o monomateriali. Per permettere la possibilità di un reale riutilizzo o il riciclo delle parti al termine del periodo di vita utile dell’elemento, che da rifiuto diventa risorsa. Il problema dell’eco-sostenibilità di una soluzione tecnica, infatti, riguarda tutto il suo ciclo di vita dal prelievo della materia prima, al processo di produzione, alla messa in opera, al periodo di utilizzo, fino alla sua dismissione. Perché in ogni fase della vita che questa può comportare effetti dannosi sull’ambiente e sull’uomo. Attraverso la valutazione LCA (Life Cycle Assessment) (nota UNI EN ISO 14040:2006), sviluppo applicativo della strategia LCT (Life Cycle Thinking) è possibile ottenere un bilancio complessivo degli impatti per indirizzare alla scelta appropriata del materiale nel progetto d’architettura, che, inoltre, deve essere ponderata rispetto alle effettive esigenze d’uso.

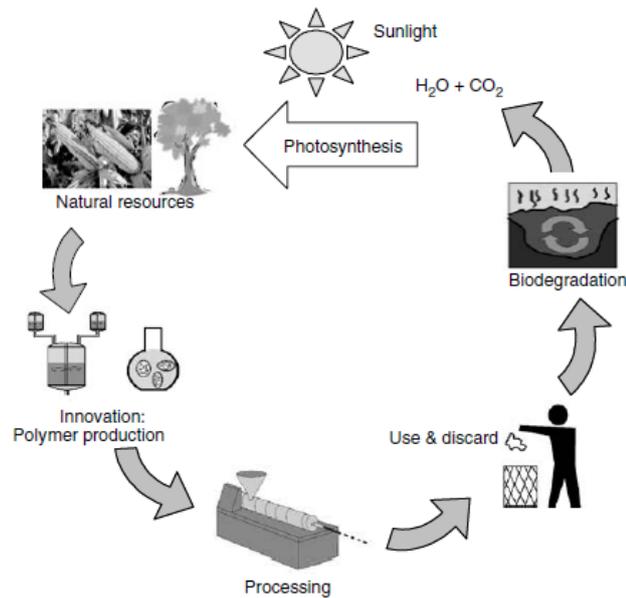


Fig.1.1.5_ Ciclo di vita dei polimeri biodegradabili garantisce il bilancio di CO₂. Fonte: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, Susan E. Selke, Bruce R. Harte, and Georg Hinrichsen. Copyright@2005 by Taylor & Francis

Possiamo, inoltre, affermare che il settore delle costruzioni è stato rivoluzionato dalla nascita dell'industria e, come abbiamo visto, dall'introduzione dei nuovi materiali, che hanno trasformato l'idea stessa di architettura, e dal principio di sostituibilità delle parti. Con l'avvento delle componenti prefabbricate, infatti, il manufatto diventa flessibile, può cioè trasformarsi nel tempo assecondando le sue nuove funzioni. L'industria produce componenti aperti che sono elementi capaci di essere impiegati in qualsiasi edificio, anche già esistente, e vengono prodotti indipendentemente dal progetto o dal cantiere (es. finestre, solai ecc); i componenti a richiesta che sono prodotti invece per un determinato progetto; e i modelli chiusi che sono elementi coordinati tra loro in modo univoco e determinato (es. abitazione-container).

Molto spesso l'auto regolamentazione delle imprese, che scaturisce dalla carenza di regole su larga scala che prescrivano la compatibilità dei giunti e delle dimensioni, porta a trasformare le componenti aperte in modelli chiusi. Questi ultimi possono rappresentare anche solo delle porzioni dell'edificio, ma è nella strategia a sistema aperto che si è vista una potenziale positiva evoluzione del settore che favorirebbe la manutenibilità del manufatto attraverso la sostituzione integrale di alcune delle sue parti.



Fig.1.1.6_ Crossbox dello studio Cgarchitectes, Francia. Fonte: <http://blog.mioprefabbricato.it/un-container-come-casa-in-francia-e-crossbox.html>

Questo è possibile grazie alle innovative tecniche industriali che assorbendo le nuove conoscenze scientifiche dispongono oggi di impianti sempre più flessibili che consentono cicli di produzione brevi e di lotti piccoli (lean production). E' sicuramente attraverso di esse che può ancora evolvere la sperimentazione tecnologica nell'ottica eco-orientata. Questo presuppone quindi che anche lo stesso processo di produzione, al pari dei materiali e prodotti, si materializzi cioè riduca al minimo l'apporto di materiali ed energia durante le fasi di produzione al fine di limitare gli impatti sull'ecosistema.

Come abbiamo visto la produzione edilizia offre numerosi input all'evoluzione della progettazione architettonica, e da essa è reciprocamente influenzata. E' importante pertanto che i progettisti si riappropriino del know how offerto dalla tecnica rimpossessandosi di quella "cultura materiale" che permette di gestire anche la fase esecutiva del progetto al fine di raggiungere quella "unità organica sintesi di forma e tecnica" e nello stesso tempo contribuire a stimolare attraverso la sperimentazione l'evoluzione della ricerca verso l'innovazione².

² *Le nuove radici antiche. Saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, G. Nardi, 1990, Franco Angeli.

1.2 Innovazione e green economy

I limiti imposti dalla tutela ambientale intrecciati con la necessità di conferire la salute e il benessere all'uomo rappresentano un nuovo stimolo all'innovazione di prodotto quale processo di miglioramento della qualità per soddisfare la biocompatibilità e la ecosostenibilità³.

Il modello economico tradizionale non ha mai attribuito un valore monetario al capitale naturale costituito da risorse abbondanti e facilmente disponibili, e per questo motivo considerate beni liberi, privi di qualsiasi valore economico.

Dagli anni '70 con la crisi petrolifera, che mette in discussione il modello di sviluppo economico, e con la presa di coscienza dell'emergenza ambientale, stimolata dalla crescente letteratura ecologica, incomincia a diffondersi una sensibilità ambientale che si va contrapponendo alla cultura imperante dell'homo economicus che come scriveva Heidegger "ha ridotto le infinite possibilità dell'ente (es. risorsa naturale) solo nell'opportunità per l'accrescimento di potenza, trascurandone la vera essenza nella perdita di vista della distinzione tra le possibilità proprie ed improprie, e di conseguenza ha sganciato l'azione tecnica da quella etica portando ad una perdita di senso dell'azione stessa". Questa cultura incentrata sul profitto ha di fatto slegato l'uomo dalla natura, smembrando l'unità di sopravvivenza che Bateson appunto riconosce nel complesso flessibile organismo-nel-suo-ambiente, fino a renderlo artefice del suicidio ecologico conseguente alla grave alterazione degli equilibri eco sistemici oltre la soglia di resilienza. Un impatto così devastante ha impoverito le risorse esauribili - o che richiedono tempi talmente più lunghi dei ritmi di estrazione da poterle considerare a tutti gli effetti non rinnovabili (petrolio e carbone) - del nostro pianeta e ha determinato lo scadimento della qualità di quelle in passato considerate illimitate (acqua e terreno) nell'accelerare i processi di erosione e nel bloccare i processi di rigenerazione. E' in questo contesto che alle tecnologie industriali asservite allo sfruttamento del territorio e delle risorse ambientali si vengono a contrapporre le tecnologie alternative che cercano di proporre un riequilibrio del rapporto uomo-natura.

³ Per ecosostenibilità si intende quella caratteristica dei processi edilizi, o di parte di essi, tali da lasciare almeno invariata, nel lungo periodo, la quantità di risorse disponibili. Per biocompatibilità quella caratteristica tecnologica (dei materiali, componenti, elementi o sistemi) e/o ambientale (delle unità ambientali, degli edifici e degli insediamenti) tale da comportare un equilibrato inserimento nel contesto naturale, evitando non solo qualunque forma di "rigetto", ma anche qualsiasi effetto nocivo sulla vita, ed in particolare sulla salute ed il comfort dell'uomo. I due concetti sono strettamente collegati essendo inscindibile il rapporto uomo-natura, e vengono distinti soltanto per cercare di approfondire il più possibile l'individuazione di tutti i possibili fattori di rischio.

Dal momento che oggi i beni naturali cominciano a scarseggiare, poiché le trasformazioni degli ecosistemi conseguenti alle attività dell'uomo sono state troppo veloci rispetto ai tempi di resilienza di questi, cioè alla loro capacità di assorbimento e rigenerazione, è risultato necessario che anche il valore dei beni ambientali iniziasse ad essere monetizzato, riformulando così alcuni principi dell'economia neoclassica e rendendo gli obiettivi ambientali possibili strategie di business.

Il pianeta, inteso nella sua globalità, ha una capacità di carico che dipende direttamente dalle risorse ancora disponibili e dalla sua attitudine ad assorbire i rifiuti e l'inquinamento prodotti dall'uomo. Questo presuppone delle conseguenze a livello economico poiché i limiti della crescita sono strettamente dipendenti da limiti di input (risorse) e di output (rifiuti). La situazione attuale è caratterizzata da un rapido esaurimento dei primi e da un inevitabile traboccamento dei secondi.



Fig.1.2.1_ Impronta ecologica, (Ecological Footprint). Fonte:
<http://thesoundofamily.blogspot.it/2012/10/eco-curiosita-della-settimana-eco.html>

Lo sviluppo sostenibile⁴ propone un radicale cambiamento dei modelli di consumo e gli stili di vita, la riduzione degli sprechi di materia ed energia nella produzione dei beni e la riduzione dei rifiuti e delle emissioni nell'ambiente.

Allo scopo di includere gli impatti e i costi ambientali nel calcolo dell'efficienza economica nel 1992, fu introdotto il concetto di eco-efficienza dal *World Business Council on Sustainable Development* (WBCSD). L'eco-efficienza descrive l'obiettivo di individuare prodotti e servizi che soddisfino i bisogni umani e innalzino la qualità della vita, riducendo progressivamente gli impatti ambientali e la quantità di risorse utilizzate durante l'intero ciclo di vita fino al raggiungimento di un livello che sia compatibile con la capacità di carico del pianeta.

I principi basilari dell'eco-efficienza secondo il WBCSD sono:

1. dematerializzazione
2. chiusura dei cicli
3. estensione del servizio
4. multifunzionalità

Anche a livello normativo⁵ comunitario sono state introdotte numerose strategie e misure per ridurre i consumi di energia e di materie prime attraverso il risparmio delle risorse naturali e l'utilizzo di energie rinnovabili. Per quel che attiene ai prodotti si riporta nel seguito l'esplicazione della Politica Integrata dei Prodotti così come riportata nel sito dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale <http://www.isprambiente.gov.it>.

La politica integrata dei prodotti (IPP) è parte integrante della strategia comunitaria per lo sviluppo sostenibile. Tutti i prodotti e servizi hanno un impatto ambientale, sia durante la produzione sia durante l'uso o lo smaltimento finale. Obiettivo della politica ambientale europea è far sì che il miglioramento ambientale vada di pari passo con il miglioramento delle prestazioni dei prodotti e nello stesso tempo favorisca la competitività dell'industria a lungo termine. Questo, in estrema sintesi, è l'obiettivo della Politica Integrata dei Prodotti (IPP) le cui linee strategiche, sviluppate in collaborazione con le imprese e i soggetti interessati, sono contenute nella Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo del 18.6.03 (COM(2003) 302 definitivo).

⁴ «Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni» (WCED,1987). Il concetto è stato introdotto dal rapporto Brundtland, un documento rilasciato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo.

⁵ 2002/91/CE, D.lgs. 311/2006, DM 26/2009, alcuni esempi.

Principi generali della IPP

L'approccio IPP, sviluppato gradualmente durante gli ultimi dieci anni, si basa su cinque principi generali:

- *considerazione del ciclo di vita (life-cycle thinking) dei prodotti;*
- *collaborazione con il mercato (introduzione di incentivi per orientare il mercato verso soluzioni più sostenibili: in particolare, incoraggiando la domanda e l'offerta di prodotti più ecologici e premiando le imprese più innovative e impegnate a promuovere lo sviluppo sostenibile);*
- *coinvolgimento delle parti interessate (incoraggiare tutti coloro che entrano in contatto con il prodotto - le industrie, i consumatori e le autorità pubbliche - ad intervenire nell'ambito della propria sfera di influenza, promuovendo la cooperazione tra le varie parti interessate);*
- *miglioramento continuo (ciascun impresa può stabilire i miglioramenti in relazione al loro rapporto costo - efficacia);*
- *molteplicità degli strumenti di azione (non si tratta di creare nuovi strumenti ma di attivare in modo efficace quelli già esistenti, dagli strumenti volontari a quelli normativi, dagli interventi su scala locale fino alle azioni a livello internazionale).*

L'esperienza derivante dal ricorso ad alcuni strumenti di gestione ambientale ha dimostrato concretamente che, in un mondo sempre più dominato dalla concorrenza, il miglioramento ambientale può costituire per le imprese uno strumento per aumentare la loro competitività o quella dei loro prodotti. La politica ambientale di prodotto mira a favorire queste imprese, garantendo loro soprattutto una maggiore visibilità.

Strumenti necessari per favorire la diffusione della IPP

- *Perché la politica integrata dei prodotti sia efficace è necessario incoraggiare i produttori a realizzare prodotti più ecologici e i consumatori ad acquistare tali prodotti. Gli strumenti utilizzabili a tal fine sono:*
- *incoraggiare il ricorso a misure fiscali per favorire i prodotti più ecologici;*
- *tener conto degli aspetti ambientali nell'aggiudicazione dei contratti pubblici (COM(2002) 412 def. del 17.7.002 e Direttiva 2004/18/ CE del 31 Marzo 2004);*
- *promuovere l'applicazione del concetto di ciclo di vita;*
- *integrare e promuovere l'applicazione degli strumenti volontari (Ecolabel, EMAS, DAP, Green Public Procurement, etc.);*

- *fornire ai consumatori le informazioni necessarie per una "scelta consapevole dei prodotti": sul loro acquisto, sul loro utilizzo e sul loro smaltimento.*

1.3 Impatti ambientali dei materiali da costruzione

L'impatto ambientale si definisce come "l'insieme delle alterazioni dei fattori e dei sistemi ambientali, nonché delle risorse naturali, prodotte dalle trasformazioni d'uso del suolo e degli insediamenti umani"⁶.

Al fine di una progettazione eco-orientata è necessario che l'impronta ecologica⁷ che considera non solo l'impatto in termini di territorio ma anche il consumo di risorse naturali ed energetiche necessarie alla produzione, trasporto e smaltimento di tutti i prodotti indispensabili in un intervento di trasformazione abbia la minima estensione possibile per limitare l'alterazione degli ecosistemi ma, nel medesimo tempo, è l'intervento stesso che deve integrarsi con i valori culturali del luogo sia materiali che immateriali ed incentivare processi sociali positivi in un'ottica di sviluppo sostenibile. Con le conoscenze attuali sappiamo che un ecosistema naturale è fragile se è a basso livello di biodiversità, animale e vegetale, perché più debole nei casi di condizioni estreme, intossicazione, introduzione di specie diverse più aggressive, e che tutti gli oggetti sono situati in un contesto ambientale al di fuori del quale "non durano e non permangono" (G. Vico) e contribuiscono all'equilibrio e alla diversificazione dello stesso. Insomma l'ambiente è un sistema totale interconnesso (Kiesler) in cui l'architettura deve inserirsi con continuità. Le azioni umane che tendono a semplificare ed uniformare - attraverso la concentrazione della popolazione sul territorio, i processi tecnologici incontrollati, l'uso dell'ambiente come luogo di prelievo delle risorse e di scarto di rifiuti - per cercare di conseguire l'equilibrio dinamico degli ecosistemi devono incrementarne la complessità (Ciribini). Queste riflessioni derivano dai grandi cambiamenti che si sono sviluppati nel campo scientifico dalla seconda metà del '900 con l'affrancamento dalle teorie riduzioniste, incentivato anche dall'utilizzo dei computer che permettono sempre più difficili sperimentazioni, che vanno sostituendo alla teoria della linearità dei fenomeni quella della complessità in cui l'effetto dell'insieme degli eventi non è nella somma delle parti ma è nelle reciproche interrelazioni.

⁶ Bettini (1984) pag. 19

⁷ Wackernagel, M, Rees, W, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, 1996. L'impronta ecologica è un indicatore utilizzato per valutare il consumo umano di risorse naturali rispetto alla capacità della Terra di rigenerarle.

Oggi giorno, però, il settore delle costruzioni, secondo le stime dell'ENEA⁸, assorbe ancora nel mondo circa 46 milioni di TEP (Tonnellate di Petrolio Equivalenti) all'anno e si pensa che sia un dato destinato a crescere. Il benessere degli utenti nei luoghi di vita e di lavoro presenta una serie di requisiti che, se non presi in considerazione in nuce al progetto architettonico, comportano un grande dispendio energetico per la loro compensazione. Infatti, come è noto, nei manufatti mal progettati e poco performanti sono ingenti i consumi legati al riscaldamento invernale e a questi, negli anni, si sono venuti ad aggiungere quelli per il condizionamento estivo.

Inoltre, dagli studi su LCEA (Life Cycle Energy Analysis) emerge che l'impatto del settore delle costruzioni non coincide con il solo impiego energetico dell'edificio in fase di esercizio (*energia di utilizzo*), ma un ulteriore addendo che incide sul bilancio dei consumi energetici del manufatto, difficile da quantizzare ma oggetto di studio di interessanti ricerche, è l'*embodied energy* o energia grigia. Essa comprende tutti gli apporti energetici materiali ed immateriali necessari per la realizzazione del sistema edificio, che vanno dall'estrazione delle materie prime dei componenti, al trasporto, al processo produttivo fino alla messa in opera (*embodied energy iniziale*). Secondo gli studi LCEA, l'*embodied energy* ha un'incidenza notevole sul bilancio totale di energia e va sommata all'energia di utilizzo e all'*embodied energy periodica* che rappresenta la parte di energia immagazzinata dai materiali e dai prodotti necessari per gli interventi di manutenzione, riparazione e sostituzione.

La drammatica crisi ambientale in atto conduce, in ogni ambito, ad un ripensamento degli stili di vita e dei metodi di produzione degli oggetti di consumo. L'architettura ha, come abbiamo visto, un impatto molto cospicuo sul bilancio dei danni ambientali. L'edificio si comporta come parassita dell'ambiente e non solo per il suo essere altamente energivoro. Dagli anni '70 con la crisi petrolifera, che, come abbiamo visto, mette in discussione il modello di sviluppo economico, incomincia a diffondersi una sensibilità ambientale che si riflette anche in ambito legislativo. Ma la scelta dei materiali da utilizzare, che è ancora molte volte effettuata con disinvoltura, come da costume nelle società consumistiche occidentali, è complice dell'impatto suddetto.

8 ENEA, (2006), Rapporto Energia e Ambiente 2006. I Dati, ENEA, Roma.

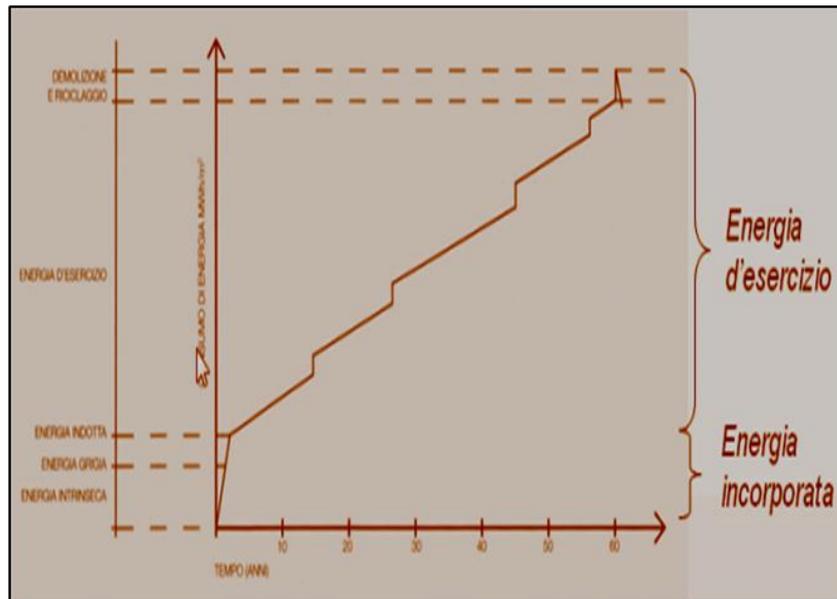


Fig. 1.3.1 – Nei paesi industrializzati l’edilizia è responsabile del 40% dell’ inquinamento complessivo “Atlante Lloyd Jones”

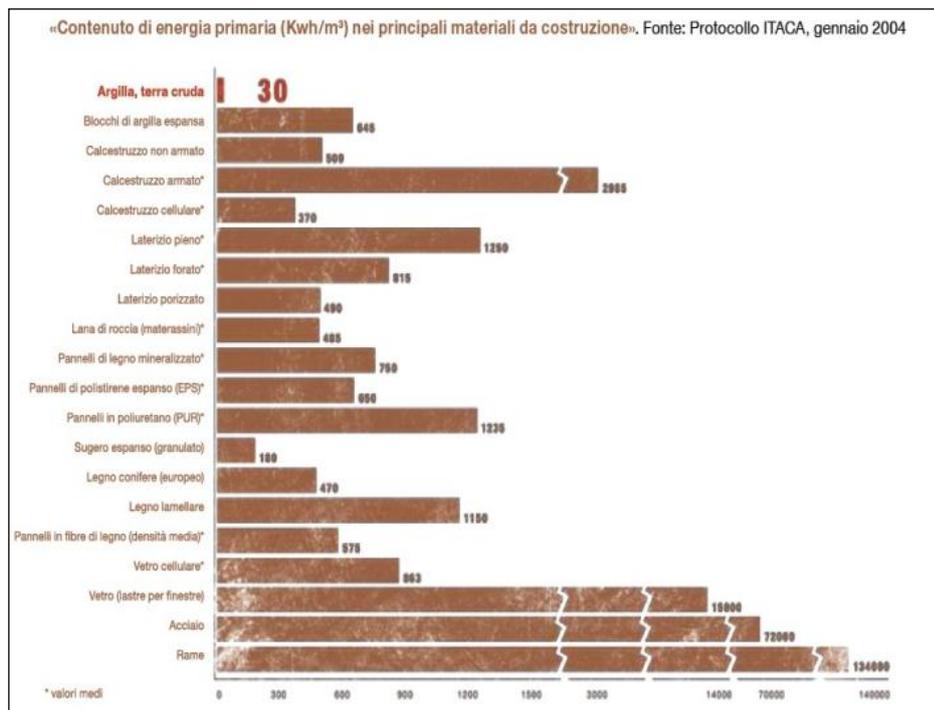


Fig. 1.3.2 – Energia inglobata dei materiali (KWh/m³). Protocollo ITACA 2004

I materiali biocompositi in architettura

Ipotesi di partizione interna verticale

I prodotti di cui facciamo uso quotidianamente sono stati pensati e costruiti secondo criteri che non tengono conto dei costi ambientali cioè dei danni causati all'ambiente, che è visto solo come fonte di prelievo di materie prime e foce di scarico di rifiuti. Allo stesso modo non sono indagati gli effetti che si riversano sull'uomo sia indirettamente dall'ambiente inquinato sia in maniera diretta da questi prodotti mediante l'interazione con le infinite sostanze tossiche che contengono ed emettono.

Anche i prodotti e i materiali edilizi e di design vengono realizzati seguendo gli stessi principi dei comuni beni di consumo. A questo punto sappiamo che l'introduzione di un "cappotto" in polistirolo in un edificio ne aumenta le prestazioni termiche ma nello stesso tempo comporta un aggravio di danni ambientali essendo un idrocarburo-derivato, con un ciclo di vita altamente inquinante ed energivoro; questo materiale, inoltre, come tutti i rifiuti derivanti da attività di demolizione, rappresenta a fine vita un rifiuto speciale⁹. Il problema dell'ecosostenibilità di una soluzione tecnica, infatti, riguarda tutto il ciclo di vita dal prelievo della materia prima, al processo di produzione, alla messa in opera, al periodo di utilizzo, fino alla sua dismissione. Non vanno trascurati, inoltre, gli impatti derivanti dal trasporto di materia e prodotti. Perché in ogni fase della vita questa può comportare effetti dannosi sull'ambiente e sull'uomo.

Per stimare la sostenibilità di un materiale/prodotto risulta necessario valutare gli impatti che ha sull'ambiente e sull'uomo in ogni fase del ciclo di vita, dalla *culla alla culla*¹⁰, considerando ogni azione che viene compiuta. Ad ogni azione può essere associata un'interazione con l'ambiente, in termini di consumo di energia, di acqua e di altre risorse naturali, di emissioni in atmosfera, di scarichi idrici, di rifiuti, di emissioni sonore.

Le fasi del ciclo di vita di un prodotto sono:

- Preproduzione
- Produzione
- Distribuzione
- Uso e Servizio

⁹ Il comma 3 dell'articolo 184 del D.lgs. 152/06 stabilisce che sono rifiuti speciali: tra gli altri i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 186.

¹⁰ W. McDonough e M. Braungart, *Dalla culla alla culla*, ed. italiana ottobre 2003, Blu edizioni

- Dismissione



Fig. 1.3.3 – Fasi del ciclo di vita di un prodotto.

La fase di preproduzione comprende tutte quelle azioni necessarie alla produzione delle componenti, quindi:

- acquisizione delle risorse primarie (di origine fossile o naturale) e delle risorse secondarie (direttamente derivate da quelle primarie)
- trasporto delle risorse dal luogo di acquisizione al sito di produzione;
- trasformazione delle risorse di origine primaria in energia e/o in materie prime di lavorazione pronte per essere immesse nel ciclo di produzione.

La fase di produzione contempla le seguenti attività:

- trasformazione delle materie prime di lavorazione in prodotti finiti
- assemblaggio delle componenti, definite da diversi prodotti finiti, in un prodotto composito
- processi di finitura (verniciatura, lucidatura, etc.)

La fase di distribuzione si compone di tre momenti principali:

- imballaggio
- trasporto
- immagazzinamento

In questa fase, in linea di principio, vanno considerati non solo i consumi e l'energia per il trasporto, ma anche l'uso delle risorse per la produzione dei mezzi di trasporto.

La fase di uso e servizio si articola secondo due momenti fondamentali:

- uso, il prodotto viene utilizzato per un determinato periodo di tempo assorbendo, in molti casi, una certa quantità di energia e/o materia e producendo rifiuti ed emissioni

- servizio, comprende la manutenzione delle prestazioni, la riparazione dei danni e la sostituzione di parti usurate

La fase di dismissione

Il prodotto/sistema rimane in fase di esercizio fino a quando l'utente non decide di dimetterlo. Le fasi operative sono due:

La dismissione avviene secondo una delle seguenti modalità:

- riuso di materiali, con la stessa funzione per la quale sono stati prodotti
- recupero di componenti, da riutilizzare come componenti per ottenere lo stesso prodotto di partenza
- riciclaggio di materiali e componenti, che vengono trasformati per essere riutilizzati con una funzione diversa da quella originale
- incenerimento (CdR), attraverso il quale è possibile recuperare energia e ridurre la massa del rifiuto da consegnare in discarica
- compostaggio, degradazione di componenti organici umidi per la produzione di materiale organico utilizzabile con funzione di concimazione in agricoltura e/o floricoltura
- trattamento delle acque, depurazione biologica finalizzata alla separazione dei composti inorganici e organici
- discarica controllata per interrimento, in caso di rifiuti organici è possibile recuperare energia dalla formazione di biogas.

Una delle fasi più critiche poiché comporta grossi danni per l'ambiente è proprio quella dello smaltimento¹¹. Sono state emanate numerose leggi che tentano di regimentare in maniera adeguata la gestione dei rifiuti per ostacolare lo smaltimento illegale ed incontrollato di questi nell'ambiente. Oggi tutti i rifiuti¹² devono essere codificati in base al vigente Elenco Europeo dei Rifiuti¹³. Pertanto è necessario sottoporre i materiali derivanti dalle attività di demolizione ad approfondite analisi chimiche che ne determinino la composizione per l'attribuzione del codice ed il conferimento in discarica. Il D. M. 17 dicembre 2009 ha istituito il sistema di controllo della tracciabilità dei rifiuti, le sue disposizioni sono riunite con le seguenti modifiche nel Testo Unico SISTRI (18 febbraio 2011). L'iscrizione al SISTRI è obbligatoria per gli enti produttori di rifiuti speciali pericolosi e facoltativa per quelli produttori di rifiuti speciali non pericolosi. Inoltre l'art. 188 del Testo Unico Ambiente, corretto dal d. lgs. 205/2012 in vigore dal 30/6/2012 individua la figura del produttore dei rifiuti e attribuisce oneri e responsabilità.

Al fine di ridurre il più possibile gli impatti ambientali dei prodotti assumono sempre più importanza le etichette ecologiche. Esse hanno il compito di informare il consumatore sui carichi ambientali del ciclo di vita del prodotto veicolandolo verso scelte critiche. Non è infatti da sottovalutare il ruolo del consumatore e quindi della domanda di mercato. *Esistono tre diversi tipi di etichettature ambientali, istituite dalle norme ISO serie 14020:*

TIPO I: Etichette ecologiche volontarie basate su un sistema multicriteria che considera l'intero ciclo di vita del prodotto, sottoposte a certificazione esterna da parte di un ente indipendente (tra queste rientra, ad esempio, il marchio europeo di qualità ecologica ECOLABEL). (ISO 14024);

¹¹ Qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia

¹² Qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'Allegato A (alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/06) e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi. Il D.Lgs. 152/2006 contiene anche alcune disposizioni per l'individuazione delle condizioni in presenza delle quali alcune tipologie di materiali di risulta non vengono classificati come rifiuti. I "non rifiuti": Materia Prima Secondaria (MPS), Sottoprodotto, Prodotto di Recupero nonché dalla regolamentazione del riutilizzo delle terre e rocce da scavo.

¹³ Il nuovo catalogo dei rifiuti (CER) è stato introdotto con Decisione comunitaria, Commissione n. 2000/532/CE e via via definito sino ad arrivare alla stesura finale con le modifiche ed integrazioni apportate dalle successive Decisioni della Commissione n. 2001/118/CE e 2001/119/CE e la Decisione del Consiglio n. 2001/573/CE. I rifiuti identificati con codici senza asterisco non sono classificabili pericolosi; se il rifiuto (non domestico) nel CER è contrassegnato con l'asterisco ed è descritto con riferimento a sostanze pericolose, tale rifiuto è pericoloso solo se la o le sostanze pericolose sono presenti in concentrazioni che superano le soglie stabilite; in caso contrario non è pericoloso e deve essere attribuito un altro codice non contrassegnato da asterisco; se il rifiuto è contrassegnato con l'asterisco, ma non è descritto con riferimento a sostanze pericolose, tale rifiuto è sempre pericoloso.

TIPO II: Etichette ecologiche che riportano auto-dichiarazioni ambientali da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, senza che vi sia l'intervento di un organismo indipendente di certificazione (tra le quali: "Riciclabile", "Compostabile", ecc.). (ISO 14021);

TIPO III: Etichette ecologiche che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e che contengono una quantificazione degli impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto calcolato attraverso un sistema LCA. Sono sottoposte a un controllo indipendente e presentate in forma chiara e confrontabile. Tra di esse rientrano, ad esempio, le "Dichiarazioni Ambientali di Prodotto" (DAP o EPD). (ISO 14025).

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

Schematizzando, la DAP:

utilizza la Valutazione del Ciclo di Vita (LCA - Life Cycle Assessment) come metodologia per l'identificazione e la quantificazione degli impatti ambientali. L'applicazione della LCA deve essere in accordo con quanto previsto dalle norme della serie ISO 14040, in modo da garantire l'oggettività delle informazioni contenute nella dichiarazione.

è applicabile a tutti i prodotti o servizi, indipendentemente dal loro uso o posizionamento nella catena produttiva; inoltre, viene effettuata una classificazione in gruppi ben definiti in modo da poter effettuare confronti tra prodotti o servizi funzionalmente equivalenti.

viene verificata e convalidata da un organismo indipendente che garantisce la credibilità e veridicità delle informazioni contenute nello studio LCA e nella dichiarazione¹⁴.

¹⁴ Testo tratto da Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, <http://www.isprambiente.gov.it>

1.4 Strategie progettuali per la fabbricazione di prodotti ecosostenibili: Life Cycle Design

Solo negli ultimi anni il processo di dismissione dei prodotti incomincia ad essere considerato. Molte iniziano ad essere le ricerche nel campo del riciclaggio dei prodotti esistenti o della riduzione e rimedio dei danni causati (soluzioni *end-of-pipe*).

Ma una teoria che si fa strada, e che è fonte di ispirazione per questa ricerca, si dimostra ben più radicale: “eliminare il concetto stesso di rifiuto partendo dalla progettazione”¹⁵. L’architetto americano William McDonough e il chimico tedesco Michael Braungart nel libro “Dalla culla alla culla” oltre a sensibilizzare sulla pericolosità dello sprigionamento delle infinite sostanze tossiche presenti nei prodotti di consumo non eco-sostenibili già nelle fasi di vita e poi soprattutto durante il processo di degrado in discarica o di combustione da incenerimento, analizzano anche i rischi e gli impatti scaturenti dal riciclo di materiali e prodotti che non prevedevano a monte della loro ideazione il reinserimento nei cicli produttivi o nei cicli naturali.

Nel testo di Manzini e Vezzoli, *Lo sviluppo di prodotti sostenibili*¹⁶, infatti vengono delineate le due diverse strade praticabili al fine di far tendere a zero l’impronta ecologica della produzione umana: i *tecnocicli* ed i *biocicli*.

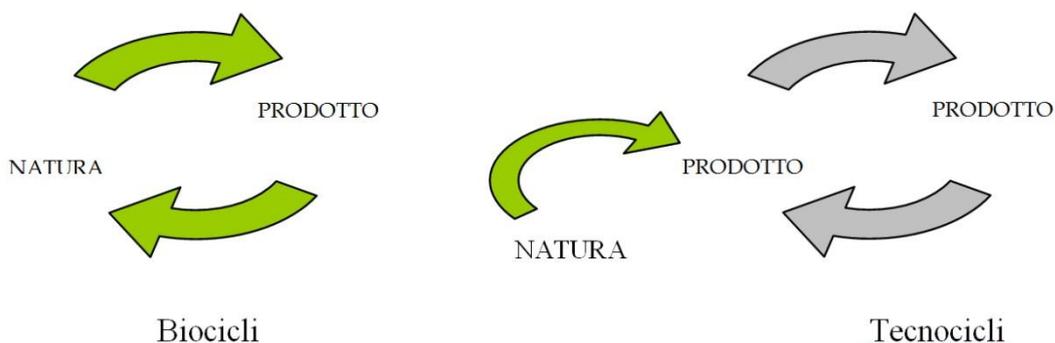
I *tecnocicli* si configurano come quei “processi tecnologici chiusi su se stessi” che “riusando e riciclando tutti i materiali” hanno come obiettivo ideale la “non-interferenza” con i cicli naturali.

I *biocicli*, invece, all’opposto tendono ad integrare la produzione artificiale nei cicli naturali utilizzando solo risorse rinnovabili e materiali biocompatibili e biodegradabili.

Allo stato attuale delle cose nessuna delle due strategie può essere considerata come soluzione unica ma entrambe possono concorrere allo sviluppo di una “ecologia industriale”.

¹⁵ Pag.13 W. McDonough e M. Braungart, *Dalla culla alla culla*, ed. italiana ottobre 2003, Blu edizioni.

¹⁶ Ezio Manzini, Carlo Vezzoli, *Lo sviluppo di prodotti sostenibili, i requisiti ambientali dei prodotti industriali*, 1998, Maggiori Editore



Determinante è il ruolo del progettista del prodotto che, sebbene debba rispondere alla domanda sociale esistente, può proporre nuove soluzioni con il valore aggiunto della sostenibilità ambientale, stimolando così la sensibilità dell'utenza.

Il nuovo obiettivo del processo di progettazione delinea il *Life Cycle Design* (LCD), "un approccio allo sviluppo di prodotti il cui obiettivo è tener conto, fin dalla fase di progetto, di tutte le possibili implicazioni ambientali connesse a tutte le fasi del loro ciclo di vita (pre-produzione, produzione, distribuzione, uso e dismissione) e di minimizzarne gli effetti negativi"¹⁷. "Un criterio metodologico che permette di individuare l'insieme delle conseguenze di una proposta di prodotto, anche per quelle fasi che generalmente non vengono considerate nel momento progettuale"¹⁸. Così, per permettere la possibilità di un reale riutilizzo o il riciclo delle parti al termine del periodo di vita utile dell'elemento, che da rifiuto deve diventare risorsa, la progettazione delle componenti edilizie e delle soluzioni tecniche si deve, prima di tutto, indirizzare sempre più verso l'ideazione di elementi assemblati a secco scomponibili o monomateriali. Inoltre, la scelta dei materiali costituenti deve soddisfare il requisito di salvaguardia ambientale sia nelle fasi di pre-produzione e produzione, in cui è necessaria "la minimizzazione di risorse materiali ed energetiche e la scelta di risorse e processi a basso impatto ambientale"¹⁹ per limitare l'*Embodied Energy Iniziale* dell'edificio, sia nella fase

¹⁷ Pag 18 Ibidem.

¹⁸ Ibidem pag. 96

¹⁹ ibidem

finale cioè, come abbiamo detto, nel loro essere materie prime-secondarie²⁰ verranno definite ed individuate con apposito decreto ministeriale nel rispetto dei seguenti criteri, requisiti e condizioni: a) siano prodotti da un'operazione di riutilizzo, di riciclo o di recupero di rifiuti; b) siano individuate la provenienza, la tipologia e le caratteristiche dei rifiuti dai quali si possono produrre; c) siano individuate le operazioni di riutilizzo, di riciclo o di recupero che le producono, con particolare riferimento alle modalità ed alle condizioni di esercizio delle stesse; d) siano precisati i criteri di qualità ambientale i requisiti merceologici e le altre condizioni necessarie per l'immissione in commercio, quali norme e standard tecnici richiesti per l'utilizzo, tenendo conto del possibile rischio di danni all'ambiente e alla salute derivanti dall'utilizzo o dal trasporto del materiale, della sostanza o del prodotto secondario; e) abbiano un effettivo valore economico di scambio sul mercato di una nuova produzione o rifiuto assorbibile dall'ambiente²¹.

Inoltre, ogni scelta deve essere ponderata rispetto alle effettive esigenze d'uso. Infatti il livello di "eco-sostenibilità dei prodotti non garantisce un'eco-sostenibilità complessiva dell'edificio"²². Ad esempio per un edificio di abitazione o comunque destinato a durare nel tempo è necessario che i materiali scelti rispondano al requisito della durabilità mentre per una struttura temporanea il progetto deve tendere all'ideazione di soluzioni reversibili, smontabili e scomponibili, e alla riutilizzabilità, riciclabilità o biodegradabilità delle componenti e dei materiali.

²⁰ Materie Prime Secondarie (MPS) In base all'art. 181-bis, introdotto dal "correttivo" dell'aprile 2008 sono le materie prime secondarie e le sostanze e i prodotti secondari.

²¹ Art. 181-bis, comma 1.

²² A. Campioli, M. Lavanga, *Life Cycle Assessment per la verifica ambientale delle scelte tecnico-costruttive*, A. Passaro (a cura di), *La produzione industriale eco-orientata per l'edilizia*, Atti 2007, Luciano Editore.

2. La ricerca nel campo dei biocompositi

2.1. I compositi: definizioni e settori d'applicazione

Si definisce materiale *composito* una combinazione di due o più micro o macro costituenti, che differiscono nella forma e nella composizione chimica, insolubili l'uno nell'altro. In genere uno dei costituenti viene chiamato matrice mentre gli altri costituiscono le inclusioni. Caratteristiche comuni a quasi tutti i materiali compositi sono una maggiore resistenza e rigidità rispetto alle matrici di base e valori piuttosto bassi di densità. Inoltre scegliendo i costituenti si possono progettare le proprietà che si intendono ottenere e quindi progettare i materiali in base alle specifiche funzionali e strutturali da realizzare.

I compositi si distinguono in base alla matrice:

- compositi a matrice polimerica, PMC (*Polymer-Matrix Composite*): ad esempio termoplastici²³, come il Nylon e l'ABS, o termoindurenti²⁴, come le resine epossidiche. Questi materiali hanno elevate proprietà meccaniche specifiche. Sono i compositi più diffusi e sono stati messi a punto per migliorare la resistenza meccanica dei polimeri, anche al crescere della temperatura, mantenendo le doti di leggerezza.
- compositi a matrice metallica, MMC (*Metallic-Matrix Composite*): generalmente alluminio, o titanio e loro leghe, più raramente magnesio o altri. Questi materiali offrono una resistenza migliorata alle alte temperature;

²³ I termoplastici hanno una bassa temperatura di fusione ($< 160^\circ$) e sono facili da stampare e formare, alcuni esempi: polipropilene, polietilene, polistirene, polivinilcloruro (PVC), poliesteri (PET), policarbonato (bisfenolo A), polimetilmetacrilato – PMMA.

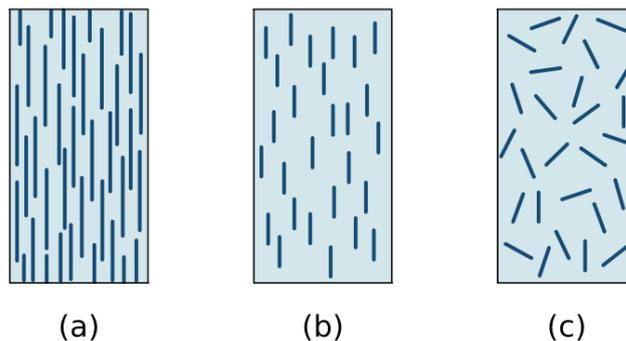
²⁴ I termoindurenti sono polimeri amorfi “reticolati” o “vulcanizzati” tramite procedimenti realizzati ad alte temperature. Dopo la vulcanizzazione non possono essere modificati nella loro forma, alcuni esempi: resine epossidiche, poliammidi, polidiciclopentadiene, policarbonato.

- compositi a matrice ceramica, CMC (*Ceramic-Matrix Composite*): generalmente carburo di silicio o allumina. Questi materiali sono stati studiati per migliorare la tenacità della matrice senza peggiorarne resistenza e densità. Le matrici ceramiche comprendono anche quelle vetrose e vetroceramiche.

Esistono, inoltre, compositi carbonio-carbonio cioè in cui sia la matrice che il rinforzo sono costituiti da carbonio e compositi ibridi cioè che contengono due o più tipologie di fibre.

Si possono avere numerose forme di inclusione che condizionano le proprietà dei compositi:

- Inclusioni sferiche (compositi con proprietà isotrope)
- Inclusioni irregolari (compositi con proprietà isotrope)
- Inclusioni a piattello (proprietà isotrope nel piano)
- Inclusioni a fibre:
 - (a) fibre lunghe o continue (compositi unidirezionali o laminati)
 - (b) fibre corte o discontinue, allineate tra loro
 - (c) fibre corte disperse in maniera casuale (compositi 3D)



I materiali compositi con fase dispersa fibrosa presentano una spiccata anisotropia. Nel caso di compositi rinforzati con fibre, il rinforzo può essere ad esempio costituito da: fibre inorganiche (di vetro, di allumina, di SiC), fibre organiche (di carbonio, costituite da carbonio grafite e carbonio amorfo, fibre aramidiche, come il Kevlar, fibre polietileniche, fibre vegetali o animali).

Le prime applicazioni di questi materiali sono state quelle in campo aerospaziale dove la riduzione di peso a parità di prestazioni meccaniche è il parametro assolutamente predominante. Inizialmente i compositi venivano utilizzati solo per la realizzazione di strutture terziarie, ovvero di parti non destinate a sopportare carichi notevoli o sollecitazioni continue. Attualmente tali materiali sono impiegati anche per la realizzazione di elementi strutturali. Ciò è coinciso con l'introduzione delle fibre di carbonio che, generazione dopo generazione, hanno apportato notevoli miglioramenti alle proprietà dei compositi e delle resine epossidiche, superiori rispetto a quelle poliestere.

Le conquiste del settore aerospaziale in materia di compositi pian piano si sono trasferite a tutti gli altri settori della produzione. Sono segnalati di seguito alcuni dei settori di maggior diffusione. Ad esempio vediamo come i materiali compositi rappresentano un'ottima alternativa ai materiali metallici per molti componenti aeronautici: sono resistenti, robusti e sopportano bene l'usura. I materiali compositi usati nell'industria aeronautica sono in genere costituiti da una matrice polimerica rinforzata con fibre di carbonio, aramidiche o di vetro. La tecnologia di fabbricazione normalmente adoperata in questo settore, per i componenti dalle dimensioni non eccessive, è la formatura in autoclave, poiché assicura il raggiungimento delle migliori caratteristiche meccaniche. Vengono realizzati: portelloni, timoni, equilibratori, elementi di coda, alettoni, flaps, pale d'elica, carenature, elementi d'interno (scomparti bagagli, tetti, pavimenti, lavabi, paratie). Ad eccezione dei componenti molto piccoli, la maggior parte delle parti in composito è realizzata con strutture sandwich a nido d'ape. La carenatura, ad esempio, è costituita da pannelli sandwich, in cui le facce sono in materiale composito con fibre di carbonio o carbonio-vetro, in forma di tessuto o roving (fibre continue), separate da un'anima a nido d'ape, fissate con uno strato di adesivo. Come anima si adopera anche una fibra di vetro ricoperta di resina fenolica che ha eccellenti proprietà di resistenza al fuoco: bassa infiammabilità e basse emissioni di fumo e gas tossici. Le fibre aramidiche ricoperte di resina fenolica sono anche usate per le eccellenti proprietà di resistenza alla penetrazione. In campo aeronautico i compositi sono molto usati soprattutto grazie al risparmio in peso unito all'alta resistenza a fatica e alla corrosione. Per esigenze di isolamento termico vengono utilizzati i GRP (plastiche rinforzate con fibre di vetro). In questo settore, in molti casi, non è adatto nessun altro tipo di materiale, sia per motivi di peso che di variazioni termiche. I sistemi a fibra di carbonio (CFRP) sono molto diffusi per l'elevata rigidità e l'eccellente stabilità termica su un ampio raggio di temperature e con essi vengono realizzati: telaio principale, rinforzi di stabilizzazione della struttura, montanti delle centine di armatura, serbatoi pressurizzati, superficie esterna della navicella.

E ancora nel settore automobilistico troviamo numerose applicazioni delle materie plastiche fibro-rinforzate come elementi non strutturali: parti di carrozzeria, spoilers, quadri comandi, pannelli porta strumenti, alloggiamento per luci, paraurti. Mentre come componenti tipicamente strutturali individuamo le molle per sospensioni e gli organi di trasmissione.

Nel settore marino individuamo: imbarcazioni da diporto, traghetti, yacht di lusso, navi militari, sommergibili, barche a vela, boe di segnalazione, tubazioni sottomarine, tubi di trivellazione.



FIG. 2.1.1 – Esempio di barca a vela in vetroresina. Fonte: <http://tabweb.blogspot.it/2013/02/ma-la-vetroresina-quanto-dura.html>

Nelle applicazioni sportive: racchette da tennis, canne da pesca, intelaiature di biciclette, mazze da golf, sci.

Nel settore edile: barre per creare tenso-strutture, pannelli, travi, infissi, ringhiere, parapetti. Questi materiali offrono numerosi vantaggi: ottime finiture superficiali, leggerezza, resistenza, capacità di isolamento termico ed agli agenti atmosferici, facilità di trasporto e messa in opera. Nel campo del consolidamento strutturale: FRP (fibre-reinforced polymer) e FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix).

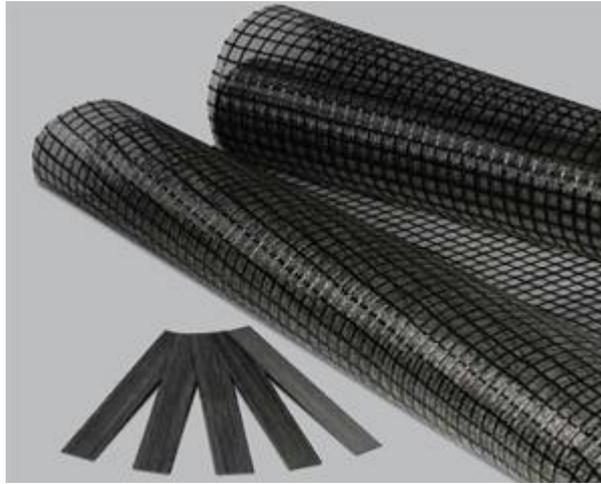


FIG. 2.1.2 – Esempio di FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix). Rete in carbonio per il rinforzo strutturale delle murature e dei tamponamenti, viene messa in opera con una matrice inorganica pozzolanica stabilizzata, studiata per rendere solidale la rete al supporto in muratura.

Inoltre numerosissimi sono gli elementi di arredo realizzati con materiali compositi.



FIG. 2.1.3 – AIR-TABLE, design Jasper Morrison. Tavoli impilabili. Anno di produzione: 2001. Materiali: poli-propilene caricato di fibra di vetro in air moulding.

Nel settore dell'ingegneria bio-medica vengono realizzate protesi per tendini e legamenti. E' da questo settore che provengono molte innovazioni nel campo dei biomateriali.

2.2 I biocompositi con fase dispersa fibrosa

“Le crescenti preoccupazioni ambientali stanno conducendo il mercato a cercare di sostituire, ai diffusissimi compositi in resina sintetica rinforzati con fibre di vetro, i biocompositi che hanno metodi di produzione più sostenibili e un ridotto consumo di energia”.

I materiali biocompositi sono quei materiali compositi in cui una o più fasi hanno origine biologica. In particolare la ricerca approfondisce i biocompositi a fase dispersa fibrosa cioè con fibre corte disperse nella matrice. Come abbiamo visto la matrice e le fibre rappresentano i componenti o fasi del composito e assemblate danno come risultato un materiale con proprietà del tutto diverse da quelle dei singoli costituenti e migliori prestazioni. Tipicamente, le fibre per la loro resistenza rappresentano una fase di rafforzamento della rigidità della matrice che è una fase continua. La matrice ha due funzioni principali: trasmettere i carichi applicati esternamente, attraverso sforzi di taglio, all'interfaccia e potenziare e proteggere quest'ultima dai danni ambientali e meccanici.



FIG. 2.2.1_ Esempio di motorino con carrozzeria in materiale biocomposito. Fonte:<http://www.techthefuture.com/wp-content/uploads/2010/03/QWIC-elektrische-scooter-Natuurvezel.jpg>

2.2.1. I biocompositi tradizionalmente utilizzati in architettura

Tra i materiali biocompositi tradizionalmente utilizzati in architettura troviamo la terra paglia. Il conglomerato in terra cruda costituisce la matrice del composito mentre le fibre di paglia il rinforzo. La terra cruda è un materiale utilizzato sin dall'antichità e presente tutt'oggi in vaste aree del mondo. È biocompatibile ed altamente ecosostenibile poiché completamente biodegradabile. Offre ottime prestazioni per l'efficienza energetica degli edifici poiché garantisce un'ottima inerzia termica e grazie alle fibre di paglia anche un buon isolamento. È impiegato mediante numerosissime tecnologie.

Una di queste è l'*adobe* (mattoncino di terra e paglia o solo di terra) in cui la composizione dell'impasto può variare a seconda della materia prima e delle prestazioni che si vogliono ottenere. L'aggiunta di paglia o altre fibre migliora la resistenza a trazione, riduce il ritiro e offre vantaggi per l'isolamento termico. La stabilizzazione con calce o cemento garantisce una maggiore tenuta all'acqua e maggiore resistenza a compressione. I sistemi a blocchi venivano tradizionalmente realizzati mediante la messa in opera con malta a base di terra e sabbia di *adobe* realizzati a mano (Resistenza a compressione²⁵ 20 bar*). Per ottenere un adobe l'impasto deve essere lavorato allo stato plastico (15-30% acqua), la terra non deve essere troppo argillosa (15-18% argilla, 10-28% limo, 55-75% sabbia), poiché ciò causerebbe un eccessivo assorbimento dell'acqua con successivo maggior ritiro durante l'essiccazione che provocherebbe lesioni nel mattone, e deve essere setacciata in modo da renderla priva di sassi e ghiaia.

Con l'avvento dell'era industriale le tecniche di realizzazione dei mattoni in terra hanno subito molte evoluzioni, nonostante esistano tutt'oggi popolazioni che continuano a costruirli a mano con l'ausilio di appositi stampi, mentre la messa in opera resta quasi invariata (tranne che i nuovi formati ad incastro richiedono meno apporto di malta) ed è la stessa di quella delle murature tradizionali. Negli USA, in Francia e in Germania esistono le fabbriche più imponenti di adobe industriale. Queste si avvalgono di mezzi meccanici sia per la produzione dell'impasto che per colare la terra in stato plastico negli stampi. Altri sistemi di produzione industriale sono: quello dei blocchi compressi realizzati mediante una pressa che applica sulla terra, in questo caso allo stato umido, una forza di compressione che ne riduce il volume di un mezzo, e quelli dei blocchi estrusi e trafilati che sono i mattoni industriali non cotti. Mediante il processo di meccanizzazione si possono ottenere mattoni pieni o forati e prevedere diverse configura-

²⁵ Tratto da *Tecniche di costruzione in Terra Cruda*, Barbara Narici, in *Costruzione e uso della terra*, Maria Cristina Forlani (a cura di), Maggioli Editore, Rimini, 2001. *Valori di Craterre, traité.

zioni formali che permettono, per esempio, anche la messa in opera ad incastro dei blocchi. Anche il blocco di terra-paglia oggi viene prodotto meccanicamente. Inoltre vanno ad aggiungersi sperimentazioni di blocchi alleggeriti con vari inerti: tritume di paglia, tritume di legno, segatura, argilla espansa, aria compressa.



FIG. 2.2.1.1 – Esempi di stampi in legno per adobe

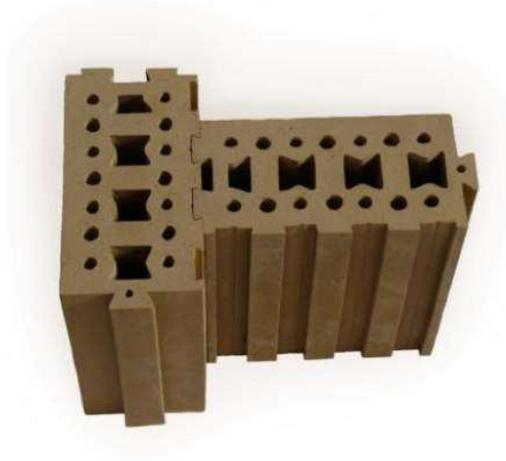
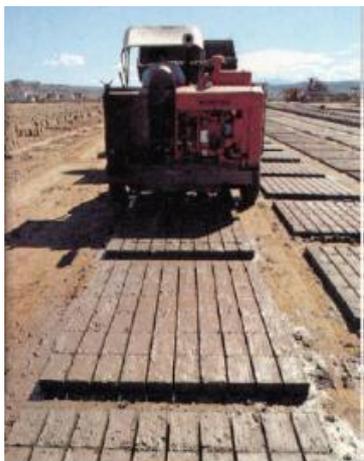


FIG. 2.2.1.2 – Esempio di processo meccanizzato per la produzione degli adobe

FIG. 2.2.1.3 – Esempi di blocchi forati in terra cruda

Un'altra tecnologia tradizionale della terra paglia è il *massone*. Si tratta di una struttura muraria monolitica. Esistono numerosi esempi di case in massone al centro Italia soprattutto in Abruzzo. Questa tecnica consiste nell'impilare pannetti del peso di 5-10 kilogrammi, modellati in forma grossolanamente cilindrica affusolata alle estremità, dello spessore medio di 15 centimetri e della lunghezza

di circa 20-30 centimetri, creati impastando la terra alla paglia a fibre lunghe fino ad ottenere un amalgama denso e plastico. I massoni venivano sovrapposti a strati alti da 50 a 70 centimetri e larghi da 40 a 80 centimetri. Ogni strato veniva poi lasciato asciugare per alcuni giorni prima di procedere alla costruzione di quello successivo.



Fig. 2.2.1.4 – Esempio di muratura costruita con la tecnica del massone.

In terra cruda e paglia venivano e vengono tutt'oggi realizzate anche pareti interne sia con sistemi a blocchi che con sistemi a telaio. I sistemi a telaio utilizzati nella tradizione sono molteplici, i più conosciuti sono:

Il torchis che è costituito da un telaio in legno con all'interno una maglia di aste o canne da supporto per la messa in opera dei torciglioni di paglia imbevuti di terra. L'impasto di terra adeguato alla realizzazione di questa tecnologia deve essere *grasso* cioè di natura limonosa-argillosa (10-20% argilla, 45-65% limo e 20-40% sabbia) ed avere una consistenza plastica (15-35% acqua) necessaria a penetrare tra i culmi di paglia umida.

Le prestazioni del torchis sono:

resistenza a trazione ca. 6 bar (1/5 rispetto ad un cemento classico)*

resistenza a compressione ca. 15 bar (1/20 rispetto ad un cemento classico)*

calore specifico ca. 1,0 kg/kgK **

Modulo di Young ca. 2000-3000 bar **

Un torchis di 20 cm di spessore con molta paglia (ca. 900 kg/mq) offre un discreto isolamento termico²⁶.

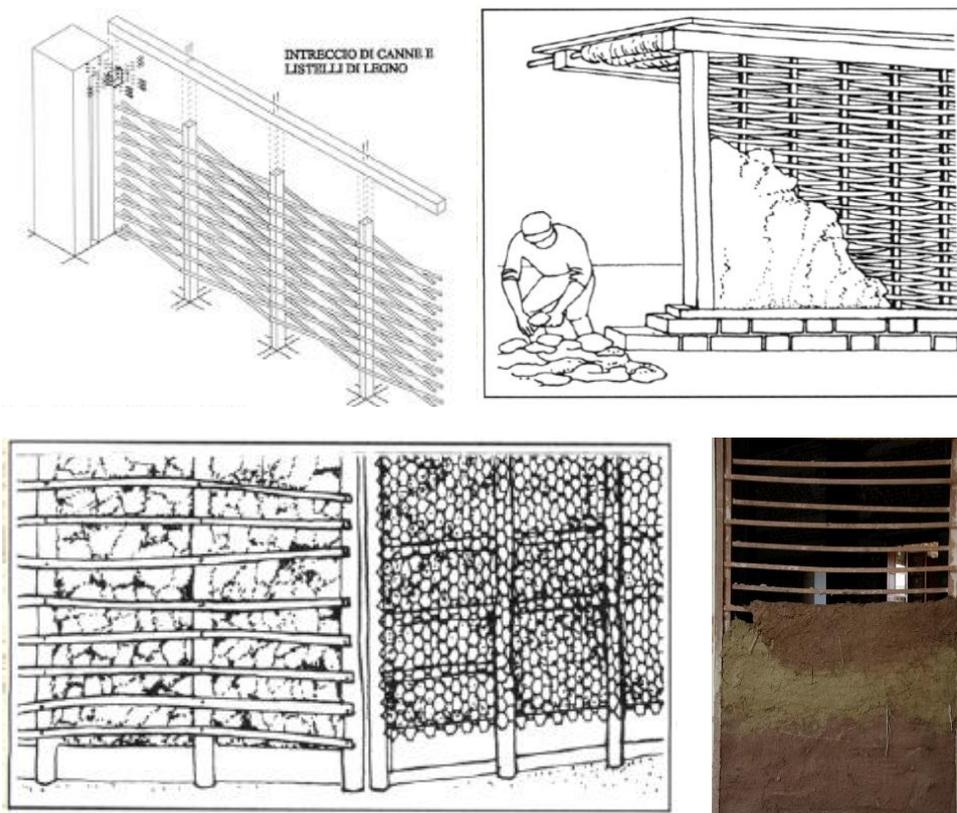


FIG. 2.2.1.5 – Esempi di sistemi di supporto per torchis

Il quincha che è costituito anch'esso da un telaio in legno a cui sono fissate da un lato e dall'altro due incannucciate. Su questi supporti viene gettato l'impasto di terra plastica omogeneizzato a fibre di paglia sminuzzate. E' un sistema costruttivo tradizionale originario del Sudamerica utilizzato già dalle popolazioni andine dell'antico Perù.

Entrambi i sistemi vengono infine intonacati.

²⁶ Tratto da *Tecniche di costruzione in Terra Cruda*, Barbara Narici, in *Costruzione e uso della terra*, Maria Cristina Forlani (a cura di), Maggioli Editore, Rimini, 2001. *Valori tratti da François Calame e Philippe Michel **Valori tratti da Lahure, hays, Calame.



Fig. 2.2.1.6 – Esempi di sistemi di supporto per quincha e realizzazione

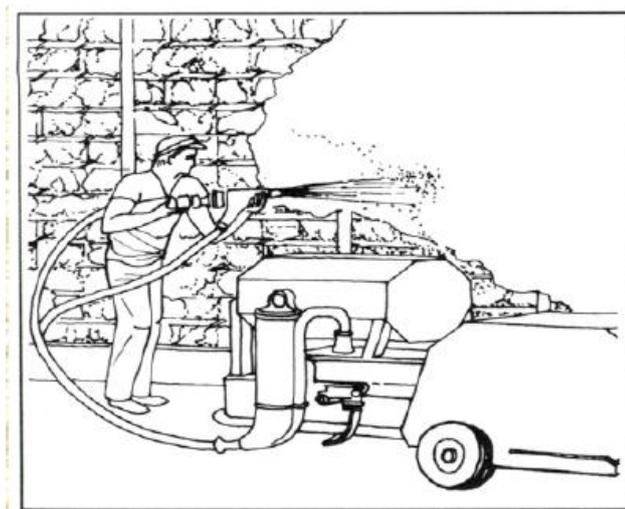


Fig. 2.2.1.7 – Macchina per gettare il conglomerato in terra sul supporto in legno

Oggi i sistemi a telaio sono prodotti anche *industrialmente*. I telai di supporto vengono realizzati in legno ma anche in acciaio e su di essi viene gettato l'impasto di terra-paglia con fibre sminuzzate. In questo modo l'innovazione del processo di produzione da la possibilità al prodotto di confrontarsi con il mercato attuale della prefabbricazione poiché consente la messa in opera a secco.



FIG. 2.2.1.8 – Fasi di produzione industriale di un pannello in terra cruda prodotto dalla azienda tedesca Claytec.

2.2.2. I biocompositi a matrice polimerica

Oggetto di questo studio sono i materiali biocompositi a matrice polimerica con fase dispersa fibrosa. Esistono infiniti tipi di combinazioni tra matrice e fibre (vedi Tab.2.2.2.1). La fase di rinforzo può includere fibre vegetali come il cotone, il lino, la canapa e simili, le fibre di legno riciclato, i rifiuti di carta, o addirittura i derivati da colture alimentari e fibre di cellulosa rigenerata (viscosa). Le matrici possono essere polimeri sintetici o derivati da risorse rinnovabili come oli vegetali o amidi²⁷, anche detti *biopolimeri*.

BIOMCOPOSITI		
Fase di rinforzo: fibre	+	Fase continua: matrice
Fibre vegetali	+	Polimero
Fibre sintetiche	+	Biopolimero
Fibre vegetali	+	Biopolimero ²⁸

Tab.2.2.2.1_Schema dei costituenti il materiale biocomposito a matrice polimerica con fase dispersa fibrosa

2.2.2.1 Il ruolo della fase di rinforzo e criteri di scelta delle fibre naturali

Le fibre di rinforzo forniscono, come abbiamo visto, la resistenza e la rigidità. La selezione delle fibre è determinata dall'adeguatezza ai valori richiesti di rigidità e resistenza alla trazione del composito. Ulteriori criteri per la scelta delle fibre di rinforzo sono, per esempio, l'allungamento a rottura, la stabilità termica,

²⁷ "Al momento attuale sono ancora preponderanti i polimeri sintetici o riciclati termoplastici, quali polietilene, polipropilene, polistirolo e cloruro di polivinile, o termoindurenti vergine come i poliesteri insaturi, fenolo formaldeide, isocianati e resine epossidiche". [op. cit.]

²⁸ Quando entrambe le fasi sono di origine biologica i Biocompositi possono prendere anche il nome di *Ecocompositi*.

l'adesione tra fibra e matrice, la dinamica e il comportamento a lungo termine, il prezzo e i costi di trasformazione.

Inoltre, per molte applicazioni tecniche, le fibre devono essere appositamente preparate o modificate per quanto riguarda:

- l'omogeneizzazione delle proprietà delle fibre;
- la buona adesione tra fibra e matrice;
- la repellenza all'umidità;
- le proprietà fiamma ritardanti.

Le fibre naturali

Le fibre naturali sembrano avere poca resistenza alle influenze ambientali. A causa di prezzi bassi e del aumento costante delle prestazioni e degli standard delle plastiche tecniche, l'applicazione delle fibre naturali giunse quasi a fermarsi. Rispetto all'Europa occidentale, l'India ha continuato ad utilizzare le fibre naturali, soprattutto quelle di iuta, come rinforzo per i compositi. Tubi, profili pultrusi, e pannelli con matrici in poliestere, sono stati prodotti con queste fibre. Il governo indiano ha promosso progetti di grandi dimensioni in cui sono state utilizzate resine di poliestere rinforzate con iuta per gli edifici, ad esempio, la Casa-Madras, 1978. Le fibre naturali erano conosciute da molto tempo come materiali da costruzione. Infatti per secoli, ed ancora oggi, come abbiamo visto, le miscele di paglia e argilla, seccate al sole, sono state impiegate come materiali compositi da costruzione, in molti paesi del mondo.

E' stato dimostrato che le fibre di canapa e lino sono potenzialmente in grado di competere con le fibre di vetro²⁹ che sono di riferimento per la loro grande importanza nei compositi tecnologici. Le fibre di lino mostrano migliori valori di resistenza, ma sono circa il 30% più costose di quelle di vetro. Inoltre il prezzo dipende dalla necessità di pretrattamento delle fibre con agenti di accop-

²⁹ Le fibre di vetro sono state originariamente sviluppate per isolare i cavi elettrici, in seguito per la formazione di una fibra di eccellente capacità ed oggi quasi esclusivamente come fase di rinforzo dei materiali compositi. Le proprietà che hanno reso la fibra di vetro così utilizzata sono: basso costo, alta resistenza, resistenza al calore, elevata rigidità, densità relativamente bassa, non infiammabile, buona resistenza chimica, bassa sensibilità all'umidità, capacità di mantenere la proprietà di resistenza su una vasta gamma di condizioni, buon isolamento elettrico.

piamento e altri tensioattivi. La sostituzione di fibre di vetro con fibre naturali è preclusa prima di tutto da ragioni economiche.

Ma le fibre naturali offrono diversi vantaggi rispetto alle fibre di vetro.

- Le fibre naturali, in particolare quelle vegetali sono una materia prima rinnovabile e la loro disponibilità è più o meno illimitata.
- Quando le materie plastiche rinforzate con fibre naturali sono state sottoposte, al termine del loro ciclo di vita, ad un processo di combustione o di smaltimento in discarica, la quantità di CO₂ rilasciata dalle fibre è neutrale per quanto riguarda l'importo assimilato durante la crescita.
- La natura abrasiva delle fibre naturali è molto più bassa rispetto a quella delle fibre di vetro, che porta vantaggi sulla tecnica, sul riciclaggio di materiale o sul processo di manifattura dei materiali compositi in generale.
- La plastica con i polimeri biodegradabili e la fibra naturale come rinforzo è il materiale più rispettoso dell'ambiente, e può essere compostato al termine del ciclo di vita.
- Le fibre naturali offrono anche vantaggi di costi e benefici significativi connessi alla gestione, rispetto alle fibre sintetiche.
- Infine, sono una risorsa altamente rinnovabile, che riduce la dipendenza dal petrolio nazionale ed estero. Recenti progressi nell'uso di fibre naturali (ad esempio, lino, cellulosa, juta, canapa, paglia, kenaf, cocco, bambù, ecc.) hanno fatto delle bio-fibre dei validi sostituti delle fibre artificiali.

Le fibre naturali sono suddivise in base alle loro origini, provenienti da piante, animali o minerali. Posso derivare dagli scarti dell'industria alimentare: piume di pollo, gusci di frutta secca, o scarti della produzione del legno. In generale, per rafforzare le materie plastiche vengono utilizzate maggiormente le fibre vegetali.

Le fibre vegetali

Le fibre vegetali possono essere estratte:

- dallo stelo: come nel caso di juta, lino, canapa, ibisco, ginestra, ecc;
- dal seme: come il cotone e il kapok ecc;
- dal frutto: come le noci di varie piante, ad esempio il cocco;

- dalla foglia: come le fibre di ananas, abaca, banana, palma, henequen, sisal ecc.

Tanzania e Brasile sono i due maggiori produttori di sisal. L'henequen è prodotta in Messico, l'abaca e la canapa nelle Filippine. I più grandi produttori di iuta sono India, Cina e Bangladesh.

Le proprietà e la struttura delle fibre sono influenzate da diverse condizioni e variano a seconda della zona di crescita, il clima e l'età della pianta. Ad esempio da ricerche su diversi tipi di lino e fibre di ananas risulta che la resistenza alla trazione delle fibre di lino dipende, molto più che per le fibre di ananas, dalla lunghezza della fibra stessa. La resistenza alla trazione delle fibre è influenzata anche dallo spessore: un aumento di spessore porta ad una maggiore resistenza.



Fig. 2.2.2.1.1_Noce di cocco. Estrazione delle fibre dal frutto e tessitura.



Fig. 2.2.2.1.2_luta. Estrazione delle fibre dallo stelo.

FIBRA	NOME BOTANICO	NOME INGLESE	FIBRE DA...	FAMIGLIA
Abaca (canapa di Manila)	<i>Musa textiles</i>	Abaca	Foglia	Musacee
Agave	<i>Agave sisalana</i>	Sisal	Foglia	Agavacee
Agave henequen	<i>Agave fourcroydes</i>	Henequen	Foglia	Agavacee
Alfa (esparto)	<i>Lygeum spartum</i> <i>Stipa tenacissima</i>	Esparto	Stelo	Graminacee
Ananas	<i>Ananas comosus</i>	Pineapple	Foglia	Bromelacee
Bambù	<i>Arundo bambos</i>	Bamboo	Stelo	Graminacee
Banana	<i>Musa sapientum</i>	Banana	Foglia	Musacee
Canapa	<i>Cannabis sativa</i>	Hemp	Stelo	Cannabacee
Canapa di Sunn	<i>Crotalaria juncea</i>	Sunn hemp	Stelo	Leguminose
Cocco	<i>Cocos nucifera</i>	Coir	Frutto	Areceacee
Cotone di Giava	<i>Ceiba pentandra</i> , <i>Ceiba acuminata</i>	Kapok	Seme	Malvacee
Erba indiana (o della Pampa)	<i>Sorghastrum nutans</i>	Indian grass	Stelo	Graminacee
Formium	<i>Phormium tenax</i>	New Zealand flax	Foglia	Agavacee
Cinestra odorosa	<i>Spartum junceum</i>	Spanish broom	Stelo	Leguminose
Ibisco	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	Hibiscus	Corteccia	Malvacee
Ibisco cannabinico	<i>Hibiscus cannabinus</i>	Kenaf	Stelo	Malvacee
Isora	<i>Helicteres isora</i>	Isora	Stelo	Malvacee
Juta	<i>Corchorus sp</i>	Jute	Stelo	Malvacee
Lino	<i>Linum usitatissimum</i>	Flax	Stelo	Linacee
Luffa (spugna vegetale)	<i>Luffa cylindrica</i>	Luffa	Frutto	Cucurbitacee
Okra (bahmia) o gombo	<i>Abelmoschus esculentus</i> <i>Hibiscus esculentus</i>	Lady's finger	Corteccia	Malvacee
Ortica	<i>Urtica dioica</i>	Nettle	Stelo	Urticacee
Palma da datteri	<i>Phoenix dactylifera</i> <i>Phoenix sylvestris</i>	Date	Foglia Base della foglia	Areceacee
Palma da olio	<i>Elaeis guineensis</i>	Oil palm	Frutto	Areceacee
Palma di Betel	<i>Areca catechu</i>	Betelnut palm	Seme e foglia	Areceacee
Palma reale	<i>Roystonea regia</i> <i>Oreodoxa regia</i>	Royal palm(vakka)	Foglia	Areceacee
Parico verga	<i>Panicum virgatum</i>	Switchgrass	Stelo	Graminacee
Piassava	<i>Aitalea fumifera</i> <i>Leopoldima piassava</i>	Piassava	Foglia Base della foglia	Areceacee
Rafia	<i>Raphia farinifera</i>	Raffia textilis	Foglia	Areceacee
Ramié	<i>Boehmeria nivea</i>	Ramié	Stelo	Urticacee
Sedano	<i>Apyum graveolens</i>	Celery	Stelo	Apiacee
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarind	Frutto	Leguminose
Vetiver	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Vetiver	Stelo	Graminacee

Tab. 2.2.2.1.1_Tabella fibre vegetali. Fonte: ing. Carlo Santulli, Università di Roma – La Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Elettrica

Le condizioni climatiche, l'età e il processo di alimentazione influenzano non solo la struttura delle fibre, ma anche la composizione chimica. Con l'eccezione del cotone, i componenti delle fibre naturali sono la cellulosa, l'emicellulosa, la ligni-

na, la pectina, le cere e le sostanze solubili in acqua, con cellulosa³⁰, emicellulosa³¹ e lignina come componenti di base per quanto riguarda le proprietà fisiche delle fibre. La cellulosa è la componente essenziale di tutte le fibre vegetali. Esistono fibre cellulosiche fatte dall'uomo: le fibre di rayon.³²

Mechanical Properties of Natural Fibers

Fiber	Diameter Range (mm)	Density (g/cm ³)	Elongation at Break (%)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)
Cotton	12-38	1.5	7.0-8.0	287-597	5.5-12.6
Jute	10-25	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Flax	5-38	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Hemp	10-51	1.4	1.6	690	35
Sisal	8-41	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Coir		1.2	30.0	175	4-6
Bamboo		0.8	—	391-1000	48-89
Soft wood		1.5	—	1000	40
Pineapple		—	1.6	413-1627	34.5-82.5
Ramie	11-80	1.5	3.6-3.8	400-938	61.4-128.0
E-glass	10	2.5	2.5	2000-3500	70
S-glass	10	2.5	2.8	4570	86
Aramid (normal)	12	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63-67
Carbon (standard)	7-10	1.4	1.4-1.8	4000	230-240

Tab.2.2.2.1.2 Proprietà meccaniche delle fibre naturali. Fonte: *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, Brett C. Suddell and William J. Evans. Copyright@2005 by Taylor & Francis

³⁰ Nel 1838, Anselme Payen ha suggerito che le pareti delle cellule di un gran numero di impianti sono costituiti della stessa sostanza, a cui diede il nome di cellulosa.

³¹ L'emicellulosa non è una forma di cellulosa. Essa comprende un gruppo di polisaccaridi (esclusi pectina), che rimane associata alla cellulosa dopo è stato rimossa la lignina. L'emicellulosa è diversa dalla cellulosa in tre aspetti importanti. In primo luogo contiene diverse unità di zucchero differenti mentre la cellulosa contiene solo il glucosio. In secondo luogo presenta un grado considerevole di ramificazioni, mentre la cellulosa è un polimero rigorosamente lineare. In terzo luogo, il grado di polimerizzazione della cellulosa nativa è 1-10 volte superiore a quella dell'emicellulosa.

³² *Composites reinforced with cellulose based fibres*, A.K. Bledzki, J. Gassan, Università (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo'nchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany, 1998.

Proprietà Biofibre Rispetto Fibre di Vetro

Properties	E-glass	Flax	Hemp	Jute	Ramie	Kenaf	Sisal	Cotton
Density g/cm ³	2.55	1.4	1.48	1.46	1.5	1.5	1.33	1.51
Tensile Strength* 10E N/m ²	2400	800 – 1500	550 - 900	400 – 800	500	570	600 – 700	400
E-modulus GPa	73	60 - 80	70	10 - 32	44	22	38	12
Specific E	29	26 - 46	47	7 - 21	29	20	20	8
Elongation Failure %	3	1.2 – 1.6	1.6	1.8	2	1.8	2 - 3	3 - 10
Moisture Absorb %	N / A	12	12	12 - 16	12 - 17	13 - 16	11	8

* Depends on the type of fiber and whether a fiber bundle or a single ultimate fiber is tested

Ref. Nova Institute, ATO, USDA, FAO, USG

Tab. 2.2.2.1.3_Confronto tra le proprietà delle fibre vegetali e le fibre di vetro. Fonte: Nova Institute.

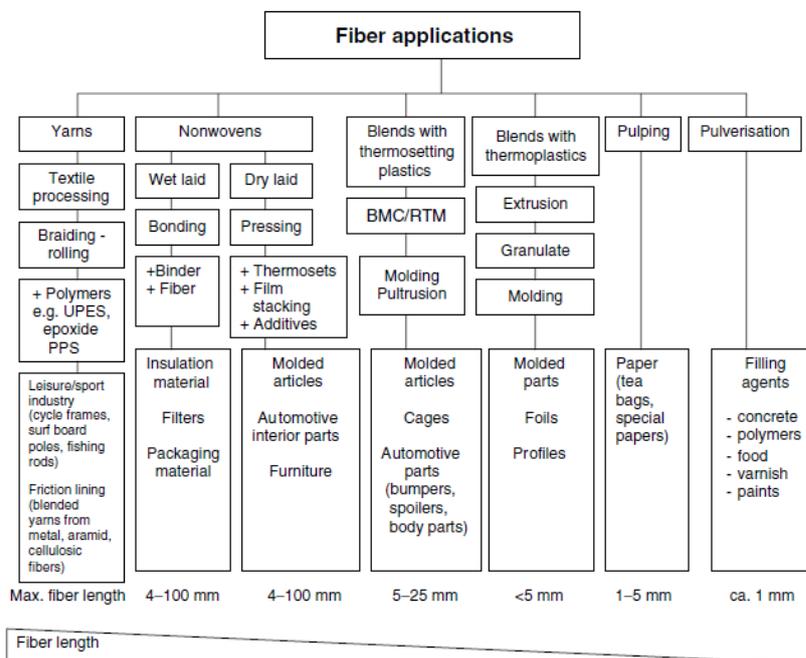


FIGURE 7.9 Promising nontextile applications of bast fibers.

Tab. 2.2.2.1.4_Settori produttivi di applicazione delle fibre. Fonte: *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, Brett C. Suddell and William J. Evans. Copyright@2005 by Taylor & Francis

Table 1. Mechanical properties of some commercially important natural fibres and comparison with man-made fibres

Fibre type	Young's modulus (GPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Strain to failure (%)	Reference
E-Glass	76	2000	2.6	
HS carbon	230	3400	3.4	21
Kevlar™	130	3000	2.3	
Flax	–	814	–	22
	–	1500 ^a	–	23
	103	690	–	24
	85	2000 ^a	–	25
	50–70	500–900	1.3–3.3	26
	28	345–1035	2.7–3.2	27
	100	1100	2.4	28
Hemp	52	621	1.33	
	–	690	–	22
	25	895	–	29
	30–60	310–750	2–3	25
	–	690	1.6	27
Jute	57	–	–	24
	–	455	–	22
	8	538	–	29
	10–78	–	–	30
	27.6	393–773	1.7–1.8	26
13	550	–	27	

^a Denotes fibre ultimates.

Tab. 2.2.2.1.5_ Proprietà meccaniche a confronto tra alcune fibre naturali di importanza commerciale e fibre artificiali. Fonte: Paul A Fowler, J Mark Hughes and Robert M Elias, *Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces*.

TABLE 4. Basic properties of some natural fibers [40].

Fiber	Density (g/cm ³)	Elongation at break (%)	Fracture stress (MPa)	Young modulus (GPa)
Cotton	1.5	7.0–8.0	287–597	5.5–12.6
Jute	1.3–1.46	1.5–1.8	393–800	10–30
Flax	1.4–1.5	2.7–3.2	345–1500	10–80
Hemp	1.48	1.6	270–900	20–70
Sisal	1.2–1.5	2.0–2.5	511–700	3.0–98
Bamboo	0.8	/	391–1000	48–89
Soft wood	1.5	/	1000,0	40,0
Ramie	1.5	3.6–3.8	400–938	44–128

Tab. 2.2.2.1.6_ Proprietà meccaniche delle fibre naturali. Fonte: *Natural Fiber Eco-Composites*, G. Bogoeva-Gaceva, M. Avella, M. Malinconico, A. Buzarovska, A. Grozdanov, G. Gentile, M.E. Errico.

Anche la produzione delle fibre vegetali può avere impatti sull'ambiente. Ad esempio nello schema seguente vediamo gli impatti, in termini di consumo di risorse e emissioni nell'ambiente, scaturenti dalla produzione della fibra di lino.

CONSUMO DI RISORSE	FASI DI PRODUZIONE	EMISSIONI NELL'AMBIENTE
Semi, fertilizzanti, pesticidi, carburante, macchinari	COLTIVAZIONE	Emissioni nell'atmosfera, emissioni nell'acqua
Steli di lino verdi		
Carburante, macchinari, acqua	MACERAZIONE IN ACQUA	Emissioni nell'atmosfera, emissioni nell'acqua
Lino secco macerato		
Elettricità	CARDATURA	Emissioni nell'atmosfera, emissioni nell'acqua, sottoprodotti, scarti
Fibra lunga		
Elettricità	PETTINATURA	
Matassa		
Elettricità, acqua	FILATURA IN UMIDO	
Filo		

Tab. 2.2.2.1.7_ Schema impatti ambientali scaturenti dalla produzione delle fibre di lino.

Il lino può essere assunto come esempio per l'impatto ambientale di qualunque fibra estratta da stelo (juta, canapa, kenaf, ecc.). L'estrazione di fibre da foglia presenta maggiore impatto sulla filatura, di solito più difficile e che richiede più trattamenti chimici. In ogni caso gli impatti scaturenti dalla produzione delle fibre vegetali non saranno mai paragonabili a quelli dovuti alla produzione delle fibre artificiali anche considerando che le fibre di origine vegetale nel processo di crescita della pianta emettono CO₂ nell'ambiente.

Inoltre è stato dimostrato che la coltivazione della canapa che fa parte delle colture tipiche della Campania ma che per lungo tempo è stata sospesa, ad esempio, aiuti la rigenerazione dei terreni inquinati. Inoltre la reintroduzione dell'alternanza delle colture e quindi di un'agricoltura più sostenibile potrebbe

ridurre l'utilizzo di fertilizzanti e quindi gli impatti derivanti di inquinamento del suolo e delle falde e di eutrofizzazione dei mari e dei fiumi. La reintroduzione di queste colture potrebbe portare un circuito virtuoso nei territori della provincia di Napoli, tipo Acerra, devastati dai tanti processi inquinanti degli ultimi anni.

1/4	Types and families	Features and performances	Environmental advantages with life cycle in comparison with the corresponding synthetic elements	Present and potential applications
N A T U R A L F I B E R S	<ul style="list-style-type: none"> ● abaca ● bamboo ● banana ● recycled paper and cardboard ● chicken feathers ● coir ● cotton ● curauà ● derived from food crops ● regenerated cellulose fibers ● recycled wood fibers ● flax ● food waste ● hemp ● henequen ● jute ● kapok ● nettle ● palm ● pumpkin bread ● piassava ● pineapple ● raffia textiles ● ramie ● sisal ● spanish broom 	<ul style="list-style-type: none"> ● Renewable resource ● Bio-compatibility ● Thermal-acousting insulation ● Mechanical traction resistance ● low cost ● low density ● lightness ● high specific strength and Young's modulus ● balanced CO2 emission if burned ● ease of formability ● ease of separation ● high moisture absorption ● hydrophilicity and high moisture sensitivity ● Recycling ● Biodegradability 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conservation of fossil raw materials ● Reduction of Energy necessary for the production of plant fiber textiles and fabrics lower than for the production of glass fibers ● Reduction of waste volume ● Reduction of carbon dioxide and carbon oxide released in the atmosphere 	<p>Uses of natural fibers according to the fiber length, are:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● as reinforcement for green composites ● Leisure/sport industry (cycle frames, surf board poles, fishing rods) ● Friction lining (blended yarns from metal, aramid, cellulosic fibers) ● Insulation materials ● Filters ● Packaging material ● Molded articles ● Automotive interior parts ● Furniture ● Cages ● Foils ● Profiles ● Papers ● Filling agents

Tab.2.2.2.1.8_ Tabella riassuntiva sulle fibre naturali elaborata dall'autore per l'articolo *Innovation of Materials for Ecological Buildin Product*, Francese D., Mensitieri G., Balestra C, atti del Convegno ACE-X 2011, 5th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, Algarve, Portogallo.

Altro fattore fondamentale è la biocompatibilità delle fibre vegetali che si contrappongono a quelle artificiali altamente tossiche per l'uomo.

Le fibre grazie alle loro proprietà sono adatte a numerose applicazioni. In particolare l'isolamento termico ed acustico, la bassa densità e la resistenza meccanica permettono il loro uso per applicazioni in architettura (vedi **fig. 2.2.2.1.1-2-3**).

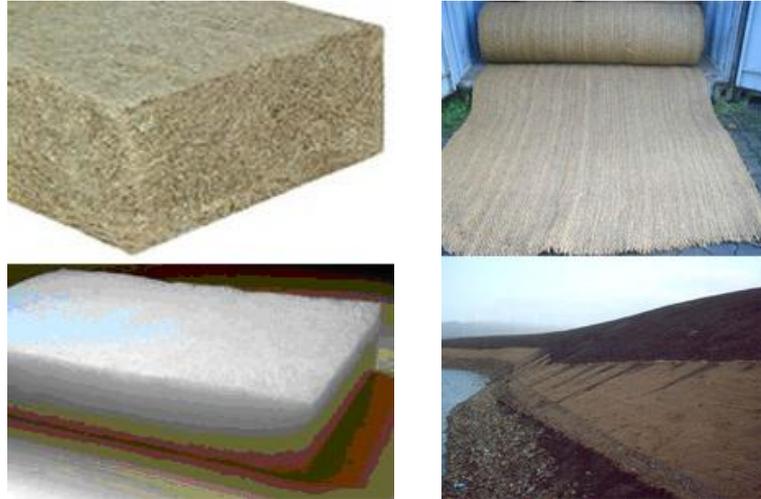


Fig. 2.2.2.1.1_ Examples of thermal insulation panels with natural fibers: (a) of hemp, (b) of corn [http://www.nextville.it/]

Fig. 2.2.2.1.2_ Example of use in environmental engineering like biomat anti erosion: the coconut biotextile of bestmann green system [http://www.bestmann-green-systems.de/]



Fig.2.2.2.1.3_ Infill walls with straw bales [http://www.laboa.org/]

2.2.2.2 Il ruolo della matrice e i materiali utilizzati

La matrice, in un composito rinforzato con fibra, tiene insieme le fibre, trasferisce i carichi applicati a tali fibre e le protegge dai danni meccanici e da altri fattori ambientali. La matrice più tradizionale nei materiali compositi comuni comprende un polimero termoplastico o termoindurente (polietilene e poliestere insature). La produzione commerciale dei biocompositi è dominata ancora da termoplastiche e termoindurenti sintetici. Infatti, polietilene e polipropilene hanno trovato ampio uso in compositi legno-plastica (WPCs, Wood-Plastic Composites). Numerose sono, però, le ricerche in atto nel settore dei termoindurenti da fonti rinnovabili con l'obiettivo di massimizzare la quota di risorse rinnovabili utilizzate, pur mantenendo le proprietà dei materiali accettabili.

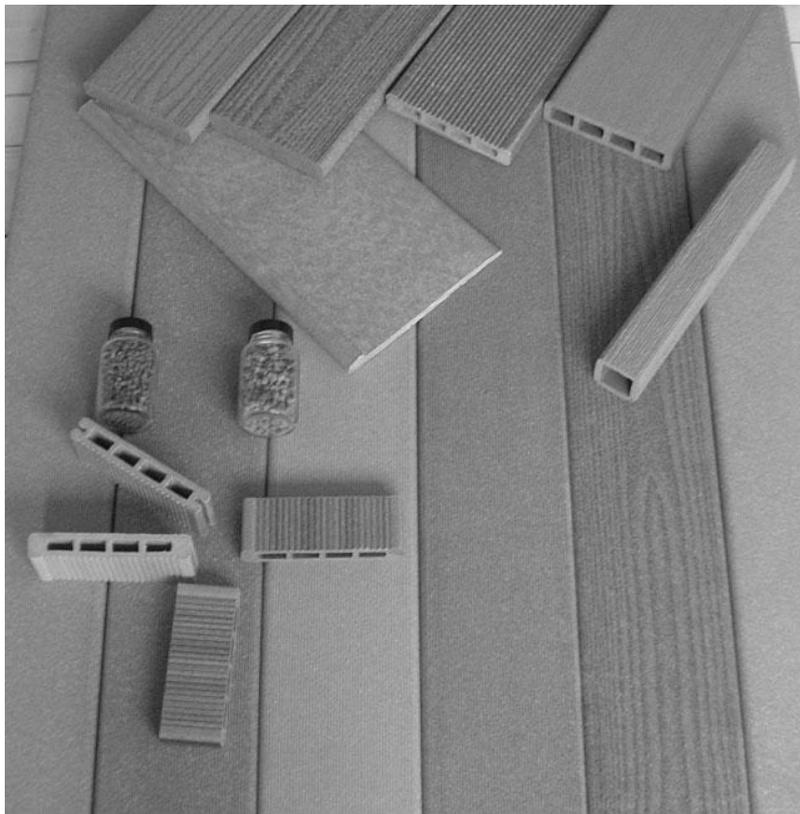


Fig. 2.2.2.2.1_ Esempio di extruded WPC products (Courtesy of Entek). Fonte: Paul A Fowler, J Mark Hughes and Robert M Elias, *Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces*.

I biopolimeri

A causa delle suddette problematiche ambientali e per motivi economici legati a possibili incrementi dei prezzi dei prodotti petroliferi, negli ultimi anni, l'industria delle materie plastiche sta sempre più impostando studi e ricerche sui biopolimeri. Le aziende stanno cercando di sintetizzare polimeri da materie prime rinnovabili o polimeri facilmente biodegradabili e smaltibili negli impianti di compostaggio.

Con il termine "biopolimeri" secondo l'European Bioplastics Association si intendono:

1. Polimeri biodegradabili con biodegradabilità approvata secondo norma EN 13432; (sia da fonte rinnovabile che fossile)
2. Polimeri a base di materie prime rinnovabili, (sia biodegradabili che non).

Si definisce "biodegradabile" un polimero progettato per andare incontro a cambiamenti di struttura chimica.

Si definisce "compostabile" il riciclaggio organico che deve avvenire in determinate condizioni e non in discarica.

Inoltre, il CEN definisce gli standard qualitativi del compost: la massima percentuale di metalli pesanti, nessuna ecotossicità, nessun residuo ancora distinguibile. Perché un materiale possa essere definito come biodegradabile è necessario che si degradi almeno per il 90% in meno di 6 mesi.

Con "disintegrabilità" si intende la frammentazione e la perdita di visibilità nel compost finale.

I polimeri provenienti da risorse rinnovabili PFRR (*polymers from renewable resources*), in generale, possono essere classificati in tre gruppi³³:

- (1) polimeri naturali, come l'amido, proteine e cellulosa,
- (2) polimeri sintetici a partire da monomeri naturali, come l'acido polilattico (PLA);
- (3) polimeri da fermentazione microbica, come polyhydroxybutyrate (PHB).

Uno dei polimeri più promettenti in questo senso è il PLA, perché è fatto da prodotti agricoli, ed è facilmente biodegradabile.

³³ L. Yu, K. Dean, L. Lin, *Progress in Polymer Science* 2006, 31, 576.

Principali Famiglie di Biopolimeri	<ul style="list-style-type: none"> • Polimeri da Amido • Poliesteri: Acido Polilattico (PLA) • Poliesteri: Poli-idrossialcoati (PHA) • Altri poliesteri da monomeri a base bio • Polimeri Cellulosici
------------------------------------	--

Tab.2.2.2.2.1_ Tabella riassuntiva sulle famiglie di biopolimeri elaborata dall'autore

Polymer	(eur/kg)	biodegradable polymers	(eur/kg)
HDPE	0.92	PLA	3-4
LLDPE	0.82	Starch	2-4
PP	0.80	Polyesters	3.5-5
PS	1.08	BAK	5.58
PVC	0.78	PCL	8.3

Tab.2.2.2.2.2_ Confronto tra i costi dei polimeri e polimeri biodegradabili. Fonte: *Natural Fiber Eco-Composites*, G. Bogoeva-Gaceva, M. Avella, M. Malinconico, A. Buzarovska, A. Grozdanov, G. Gentile, M.E. Errico.

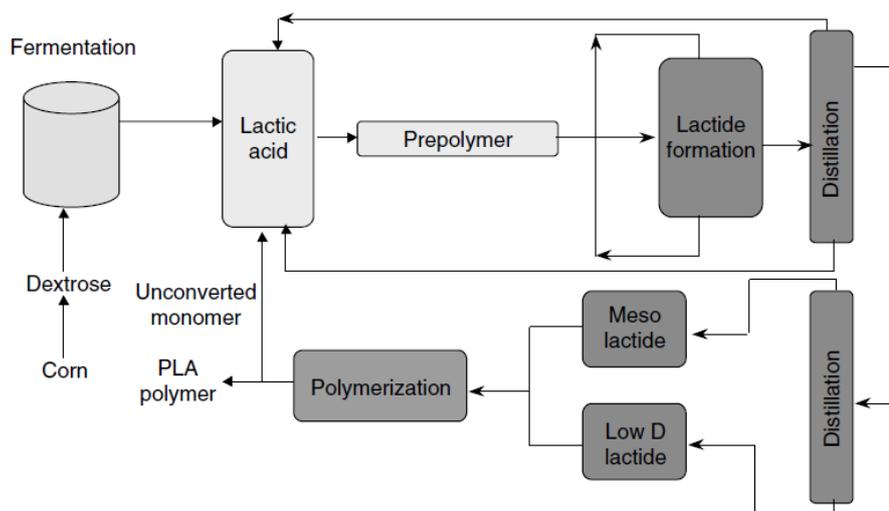


Fig.2.2.2.2.2_ Processo di realizzazione del PLA. Fonte: *Polylactic Acid Technology*, David E. Henton, Patrick Gruber, Jim Lunt, and Jed Randall. Copyright@2005 by Taylor & Francis.

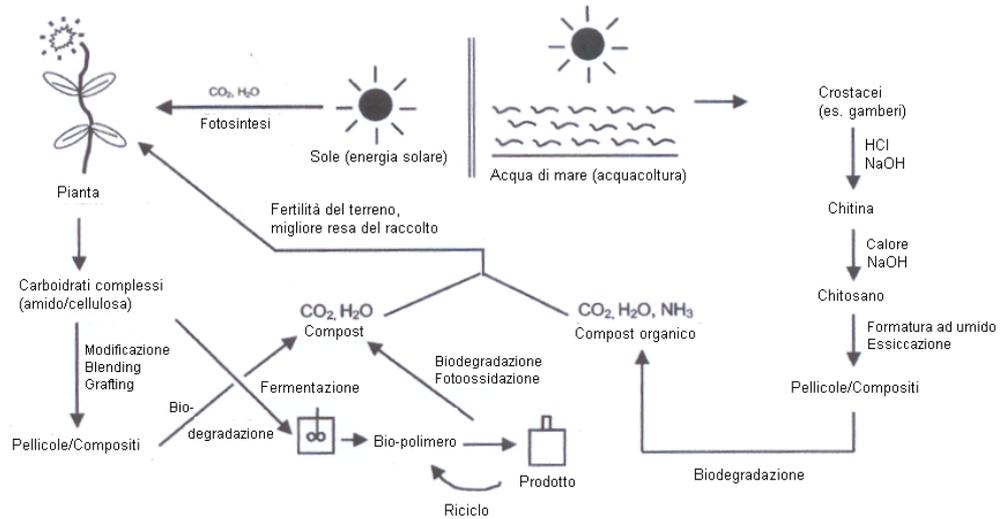


Fig.2.2.2.3_ A sinistra biopolimeri di origine vegetale a destra biopolimeri di origine animale. Fonte: ing. Carlo Santulli, Università di Roma – La Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Elettrica

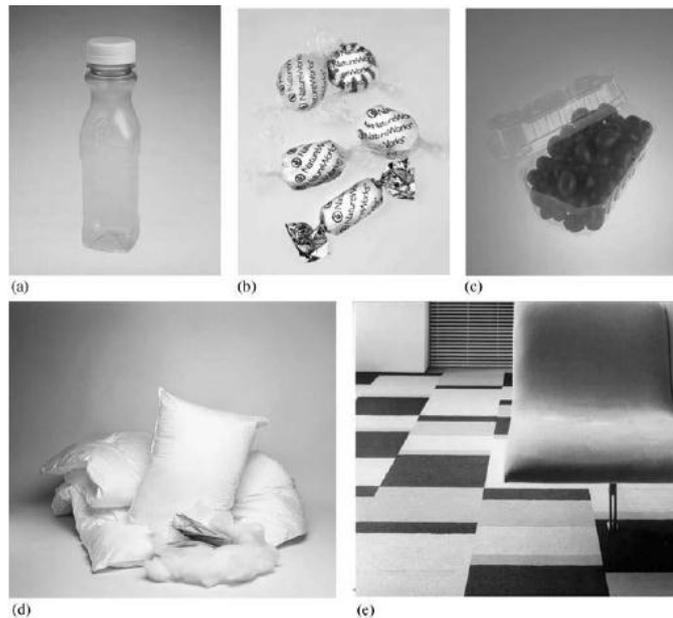


FIGURE 16.16
Articles produced from PLA. (a) Injection stretch-blow molded bottles. (b) Films. (c) Extrusion-thermoformed containers. (d) Fiberfill products. (e) Carpet and coverings.

Fig.2.2.2.4_ Prodotti con PLA. Fonte: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, Susan E. Selke, Bruce R. Harte, and Georg Hinrichsen. Copyright@2005 by Taylor & Francis

I materiali biocompositi in architettura

Ipotesi di partizione interna verticale

2/4	Types and families	Features and performances	Environmental advantages with life cycle in comparison with the corresponding synthetic elements	Present and potential applications
B I O P O L Y M E R S	<ul style="list-style-type: none"> ● Corn, weith, tapoca, patate amid polymers ● Cellulose polymers ● Soy plastic Polyesters: <ul style="list-style-type: none"> ● Polylactic acid (PLA) ● Polyhydroxyalkanoate (PHA) ● Polyhydroxybutyrate (PHB) ● Polyhydroxyvalerate (PHV) ● Polyhydroxyhexanoate (PHH) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Renewable resource ● Bio-compatibility ● Transparency ● Natural soft feel ● Ease of processing ● Unique stain and soil resistance ● Burns with low smoke generation ● Good ultraviolet resistance ● Easily dyeable ● Brings good wickability of moisture to applications ● Specific mechanical properties (comparable to widely used plastics, including polyethylene, polystyrene, and unsaturated polyesters) ● Hydrophobic ● compression resistant ● Biodegradable (only few families) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conservation of fossil raw materials ● Reduction of Carbon dioxide released in the atmosphere ● Reduction of flowing water pollution ● Reduction of waste volume 	<ul style="list-style-type: none"> ● Biomedical application ● Packaging, films, extrusion-thermoformed containers ● Single-use dishes and forks ● Objects such as: pen, pencil sharpener, rulers, children's toys, dry containers for cosmetics, cell phones, belts, etc. ● Fiberfill products ● Ecological fabrics and eco-membranes ● Injection stretch-blow molded bottles ● Carpet and coverings ● Various complex structures, such as tubes, panels, and automotive parts, that are currently made from petroleum-based plastics

Tab.2.2.2.1.3_ Tabella riassuntiva sui biopolimeri elaborata dall'autore per l'articolo *Innovation of Materials for Ecological Buildin Product*, Francese D., Mensitieri G., Balestra C, atti del Convegno ACE-X 2011, 5th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, Algarve, Portogallo.

2.2.2.3 I fattori che influenzano le proprietà dei biocompositi

Sebbene molti fattori concorrano ad influenzare le proprietà di un materiale composito, in ultima analisi, tuttavia, le prestazioni di un composito sono dettate dalle proprietà intrinseche dei costituenti: l'architettura della fibra e l'interfaccia tra fibra e matrice.

L'architettura della fibra, che comprende (i) la geometria della fibra, (ii) l'orientamento delle fibre, (iii) l'accordo di imballaggio e (iv) il volume percentuale di fibra, controlla molte proprietà dei compositi, in particolare le proprietà meccaniche. Ma il volume percentuale di fibra (V_f) è probabilmente il più importante. Il valore V_f massimo ottenibile è, tuttavia, in gran parte disciplinato dall'orientamento e dalla disposizione dell'imballaggio delle fibre, che sono, a loro volta, dettate dal processo di produzione adottato.

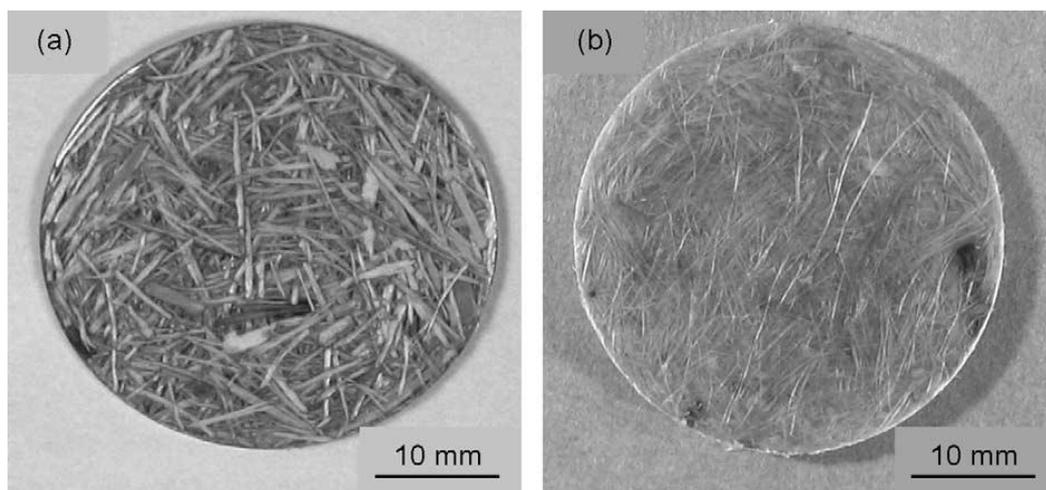


Fig.2.2.2.3.1_ Campioni di compositi con kenaf e bagasse. Fonte: S. Shibata et al. / Polymer Testing 24 (2005) 1005–1011

La geometria della fibra può essere in qualche misura influenzata dal modo in cui vengono estratte le fibre e trasformate. Un approccio che sta ricevendo attenzione da parte della comunità di ricerca è quello di rompere le fibre stesse fino alla forma di nanofibre, e poi utilizzarle per rafforzare i compositi. Suddividendo la fibra, i difetti microscopici, che possono portare a concentrazioni di tensioni localizzate all'interno della matrice, possono essere eliminati. Un altro modo di manipolare l'architettura della fibra per migliorarne le prestazioni è quello di allineare le fibre di rinforzo all'interno della matrice. In questo modo, la dispo-

sizione di imballaggio ha anche un miglioramento generale, con un incremento V_f e di conseguenza migliori prestazioni.

L'interfaccia tra fibra e matrice è fondamentale anche in termini di prestazioni del composito. L'interfaccia serve a trasferire i carichi applicati esternamente attraverso sforzi di taglio alla fase di rinforzo. Un buon legame è essenziale.

Esistono numerose problematiche al riguardo, dovute a caratteristiche di incompatibilità tra le fasi che ne compromettono l'aderenza.

2.2.2.4. I metodi per il potenziamento delle proprietà specifiche

Molti studi vengono oggi compiuti allo scopo di trovare metodi per migliorare le prestazioni dei biocompositi. Un'attenta selezione delle fibre di rinforzo e dei polimeri per la matrice, alla luce della loro applicazione, è il primo passo per ottenere un composto con le proprietà desiderate. Tuttavia, le proprietà di un biocomposito possono essere controllate ed anzi adeguate alle esigenze, modificando quei fattori che influenzano le proprietà del composito, vale a dire l'architettura della fibra e l'interfaccia tra matrice e fibra. L'architettura delle fibre, e in qualche misura l'interfaccia, sono influenzate dalla tecnica di fabbricazione adottata. Il miglioramento delle proprietà meccaniche di un composito può essere ottenuto aumentando la frazione di volume di fibre, anche se raggiungerà un valore massimo, a seconda della disposizione di imballaggio della fibra. Come abbiamo visto l'interazione fibra-matrice può essere migliorata mediante modificazioni chimiche o fisiche alla fibra. Tutte le fibre naturali sono fortemente idrofile, causa della incompatibilità di adesione e dei problemi di dispersione con matrici polimeriche idrofobe. Modificazioni chimiche delle fibre naturali come acetilazione, sililazione e altri trattamenti ne riducono la sensibilità all'umidità.

Ad esempio una interessante ricerca³⁴ sui PFRR evidenzia come la caratteristica di idrofobia e la sensibilità all'umidità dei poliesteri biodegradabili, che ha contribuito alla diffusione del composito come materiale *eco-friendly*, può rappresentare, allo stesso tempo, un problema per l'adesione con la fibra idrofila. La stessa ricerca prende in esame un composito PLA cellulosa-rinforzato e studia tre

³⁴ *Green Polymeric Blends and Composites from Renewable Resources*, Long Yu, Steven Petinakis, Katherine Dean, Alex Bilyk, Dongyang Wu

tecniche per migliorarne l'interfaccia³⁵ dimostrando che l'inclusione di nanosilicati dispersi nel polimero porta ad una vasta gamma di variazioni di proprietà, incluse modulo di stoccaggio, aumento delle proprietà flessionali e tensili, diminuzione della permeabilità e dell'infiammabilità. Queste nuove miscele e compositi stanno estendendo l'utilizzo dei polimeri da fonte rinnovabile a nuovi prodotti a valore aggiunto.

Altri trattamenti che agiscono per ridurre gli effetti di umidità del composito e dotare le fibre naturali di proprietà idrorepellenti sono: glass mat thermoplastic matrix (GMT), sheet moulding compound (SMC) o bulk moulding compound (BMC), "Express"-trattamento³⁶.

2.2.2.5. I metodi di produzione

I metodi di produzione dei biocompositi sono numerosi come quelli delle plastiche. Il processo consiste in due fasi, che possono in alcuni casi avvenire contestualmente. La prima è la combinazione del composito, *compounding*, cioè la miscelazione delle fasi componenti. La seconda è la fabbricazione del prodotto. Durante il processo di *compounding* il polimero viene riscaldato o da una fonte di calore esterna o come risultato di tranciatura meccanica in estrusore e aggiunta la fibra di rinforzo. In questa fase alla fibra naturale, di solito sotto forma di farina, possono essere aggiunti altri additivi per migliorare le caratteristiche del materiale risultante. Una volta che i componenti sono stati accuratamente miscelati, il composto può essere trasformato nel prodotto finale.

Di seguito sono riportate le tecniche utilizzate per la fabbricazione del prodotto:

- Lay-up manuale o stampaggio a contatto, è un metodo artigianale, il più antico e semplice per costruire pezzi in materiale composito ed è ancora oggi largamente utilizzato per stampi grossi in vetroresina poiché fa uso di dispositivi semplici ed economici. La tecnica consiste nell'applicare la

³⁵ (1) Trattamenti della superficie della farina di legno, (2) compatibilizzanti (Diisocianato di metilendifenile MDI) e (3) agenti di accoppiamento.

³⁶ *Composites reinforced with cellulose based fibres*, A.K. Bledzki, J. Gassan, Università (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mönchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany 1998

matrice e le fibre su uno stampo per un primo strato seguito dalla rimozione di bolle d'aria tramite opportuni rulli. Dopo di ciò vengono aggiunti altri strati di resina e fibre sino ad arrivare allo spessore di progetto. La forma è ottenuta prendendo l'impronta dello stampo che può essere anche in legno. E' importante, pertanto, che le superfici di quest'ultimo siano perfettamente pulite poiché la finitura superficiale dello stampo condiziona l'aspetto del pezzo. Le fasi del processo sono: costruzione del modello\realizzazione dello stampo, applicazione del distaccante sullo stampo, taglio dei tessuti, stratificazione, polimerizzazione, estrazione da stampo, finitura.

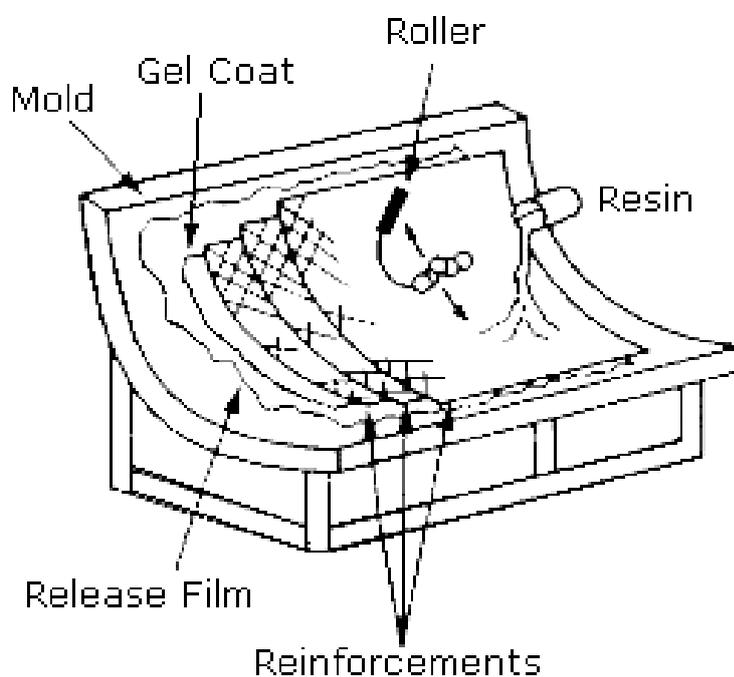


Fig.2.2.2.5.1_Lay-up manuale o stampaggio a contatto. Fonte: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_1.html

- Pultrusione, dall'inglese *estrusione per trazione*, è il processo produttivo normalmente impiegato nella produzione di canne, di articoli a sezione cava e di profilati vari. Strati continui di fibra rinforzata vengono impregnate con resina catalizzata e fatte poi passare attraverso una maschera di metallo riscaldata avente la forma della sezione del prodotto finale desiderato usando un apposito macchinario che "tira" il materiale composito. Le temperature della *cura o curing die* (zona di preriscaldamento, zona di ge-

lificazione, zona a elevata temperatura) favoriscono la polimerizzazione della resina.

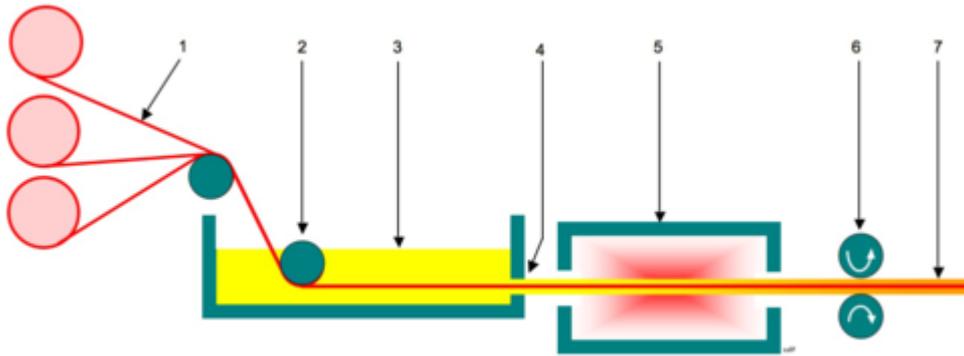


Fig.2.2.2.5.2_ Schema di un processo di pultrusione. Fonte: www.wikipedia.org

- 1) Fibre (fase dispersa)
- 2) Rullo
- 3) Impregnazione delle fibre con la fase continua (polimero)
- 4) Uscita dalla vasca di impregnazione
- 5) Cura
- 6) Tiraggio
- 7) Materiale composito (a matrice polimerica rinforzato con fibre continue).

- Estrusione, consente di produrre pezzi a sezione costante (ad esempio tubi, barre, profilati, lastre). Questo processo consiste essenzialmente nel forzare per compressione il materiale a passare attraverso una sagoma, *matrice* o *filiera*, che riproduce la forma esterna del pezzo che si vuole ottenere. All'uscita il materiale viene raffreddato. Nel caso delle materie plastiche, la compressione del materiale a monte della matrice è ottenuta attraverso una vite senza fine semplice o doppia (vite di Archimede), che spinge il materiale verso la testa di estrusione. Le materie plastiche vengono introdotte nella *tramoggia* sotto forma di granuli, *pellet*, o in polvere; il calore interno ne causa la *fusione* (nel caso di polimeri cristallini) o il *rammollimento* (nel caso di polimeri amorfi o semicristallini).

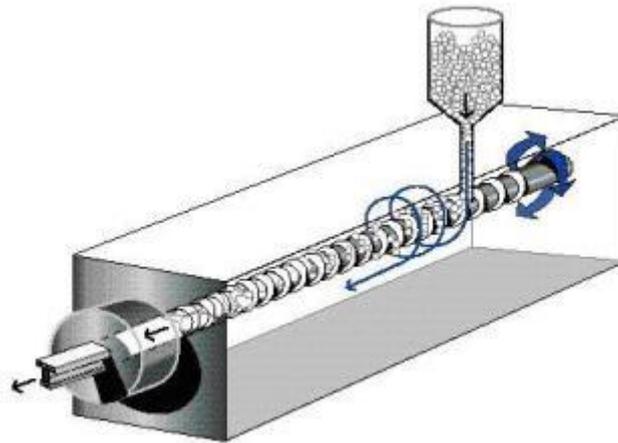


Fig.2.2.2.5.3_ Estrusore. Fonte: <http://www.airliquide.it/it/le-applicazioni-dei-gas/inertizzazione/inertizzazione-estrusore.html>



Fig.2.2.2.5.4_ Nella prima immagine Esempio di polimero sotto forma di pellet. Fonte: http://www.italcombiodegradabile.com/descrizione_plastica_biodegradabile.html

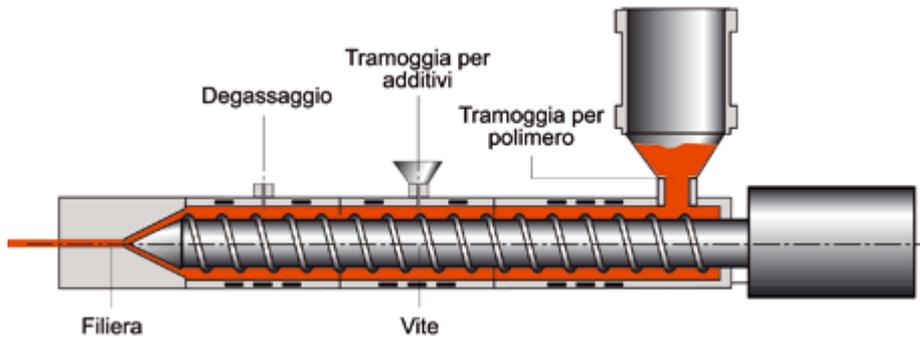


Fig.2.2.2.5.5_ Descrizione di un macchinario estrusore. Fonte: http://www.dlservizi.it/Schede_prodotti/Granulati_detergenti.html

- Stampaggio ad iniezione è un processo di produzione in cui il materiale viene fuso ed immesso in una forma permanente detta *stampa* mediante una forza di iniezione esercitata da un *gruppo iniezione* (detto a *vite punzonante*). Generalmente, l'iniezione avviene a pressioni elevate ed a temperature che consentono lo scorrimento del materiale nella sezione della pressa. Gli stampi sono tenuti chiusi idraulicamente o meccanicamente in macchine dette presse per lo stampaggio. A raffreddamento avvenuto lo stampo viene aperto.

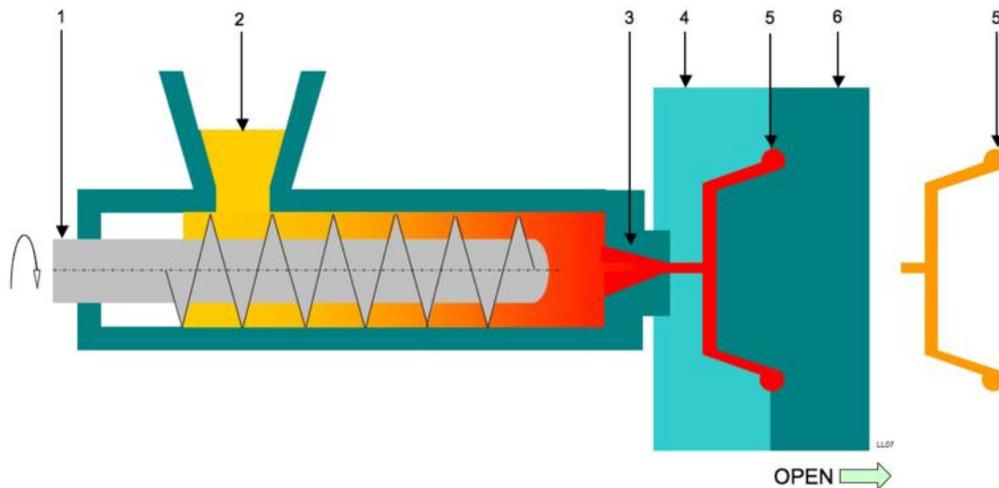
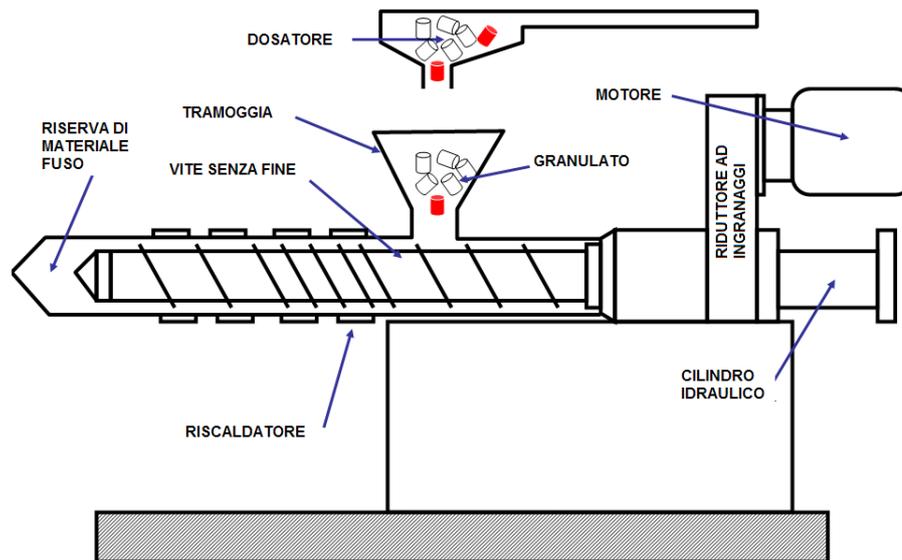


Fig.2.2.2.5.6_ Processo di stampaggio ad iniezione. Fonte: www.wikipedia.org

1. Vite punzonante
2. Tramoggia
3. Sezione della pressa

4. Stampo
5. Materiale in fase di stampaggio
6. Stampo, lato apribile
7. Prodotto stampato



SCHEMA DI PRINCIPIO DELL'UNITA' DI INIEZIONE

Fig.2.2.2.5.7_ Pressa ad iniezione. Fonte: www.wikipedia.org

- Stampaggio a compressione, è un processo mediante il quale il polimero, inizialmente in forma di polvere o pellet, viene sottoposto ad elevate pressioni, fino ad ottenere la forma desiderata, riprodotta dallo stampo. Lo stampo, generalmente in alluminio o acciaio, è suddiviso in due o più parti, a seconda della complessità del manufatto, in modo da permettere l'estrazione a fine stampaggio. Tramite la pressione si realizza il processo di reticolazione del materiale in cui le catene polimeriche vanno incontro ad una reazione che crea dei legami fra diverse catene (o eventualmente tra due punti diversi della stessa catena), di tipo covalente oppure ionico, quindi legami forti.

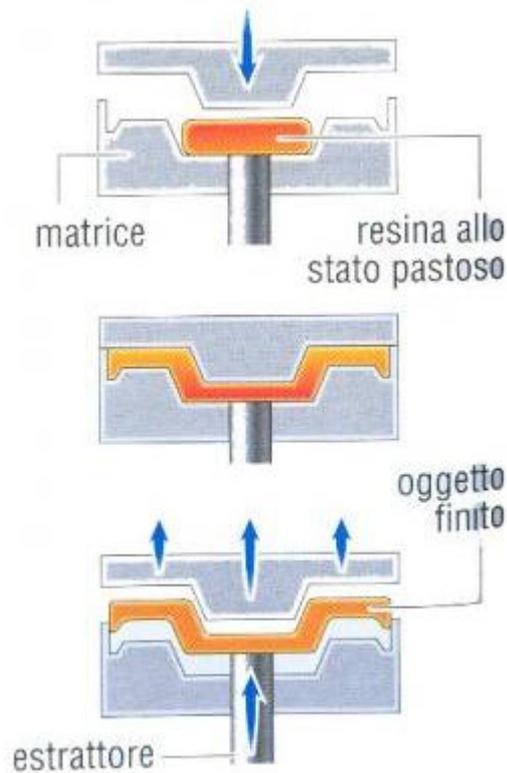


Fig.2.2.2.5.8 Stampaggio a compressione. Fonte: <http://auladitecnica.blogspot.it/2011/12/la-plastica-la-plastica-e-un-materiale.html>

- Stampaggio a trasferimento di resina, è un processo in cui il materiale, non reticolato, è posizionato all'interno di una camera di trasferimento. Quando raggiunge la temperatura di lavoro, è iniettato in stampi chiusi e riscaldati. L'iniezione è realizzata con un punzone o con un alimentatore a vite rotante. L'attrito viscoso che si genera durante il riempimento genera calore che incrementa la temperatura del materiale e lo omogeneizza. Il processo si completa con la reticolazione. Durante il riempimento il materiale è fuso.

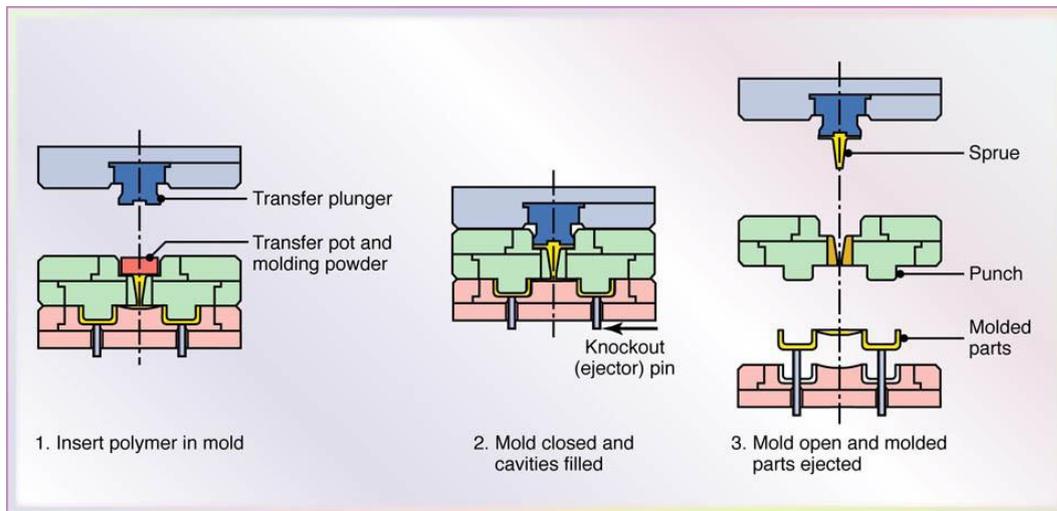


Fig.2.2.2.5.9_Stampaggio a trasferimento di resina. Fonte: Lezione di Tecnologia meccanica 2, prof. Ligi Tricarico.

PROCESSO	CARATTERISTICHE
Lay up manuale	Prodotti di grandi dimensioni; basso costo delle attrezzature
Pultrusione	Produzione di canne, articoli a sezione cava e profilati vari; elevati volumi produttivi; basso costo delle attrezzature
Estrusione	Pezzi lunghi, uniformi, pieni o cavi, con sezioni di forma semplice o complessa; ampia gamma di tolleranze dimensionali; elevati volumi produttivi; basso costo delle attrezzature
Stampaggio a iniezione	Forme complesse di diverse dimensioni e con elevato grado di dettaglio; buona accuratezza dimensionale; elevati volumi produttivi; elevato costo delle attrezzature
Stampaggio a compressione	Parti simili a quelle ottenute per ricalcatura; volumi produttivi medi; attrezzature relativamente economiche
Stampaggio a trasferimento	Parti più complesse e con volumi produttivi più elevati rispetto a quelle ottenute con lo stampaggio a compressione; incidenza degli scarti non trascurabile; costo medio delle attrezzature

Tab.2.2.2.5.1_Tabella riassuntiva delle caratteristiche dei processi di produzione dei biocompositi.

2.2.3 Materiali cellulari: le schiume

I materiali cellulari sono materiali bifasici, costituiti da una fase solida e una gassosa. L'accoppiamento delle due fasi conferisce al materiale ottime proprietà di leggerezza, isolamento termico, assorbimento acustico, galleggiamento, assorbimento di energia ad impatto. Sono materiali cellulari naturali il legno, il sughero, il tufo, la pietra pomice etc. Mentre quelli sintetici più utilizzati sono le argille espanse e i polimeri espansi, ma è possibile, con le tecnologie attuali, produrre schiume anche da classi di materiali ceramici, metalli, vetri, cementi e calcestruzzi³⁷.

Le schiume, possono essere definite come materiali compositi caratterizzati da una matrice continua liquida o solida che circonda una fase gassosa. Ci sono molti esempi di schiuma in natura, e tutti loro sono la prova che, anche in natura, i materiali con differenti proprietà (gas, in particolare) sono impiegati per ottimizzare le prestazioni e / o il peso delle strutture. La possibilità di combinare in una grande varietà di morfologie le proprietà di una matrice continua con i vuoti del gas è un potente strumento nel settore della progettazione dei materiali per ottenere dispositivi che hanno caratteristiche personalizzate per qualsiasi tipo di applicazione dove sono richieste buone prestazioni e basso peso. Per esempio, le schiume possono essere rigide o flessibili, a bassa o ad alta densità, a cellule chiuse o aperte, e con celle di dimensioni e forme diverse.

Le schiume *metalliche* vengono prodotte miscelando al metallo fuso particelle organiche (carbone), che vengono poi bruciate lasciando dei pori nel sistema finale. I *calcestruzzi* cellulari si ottengono facendo espandere, con gas o aria, la miscela delle materie prime (con acqua) utilizzate per la produzione di un calcestruzzo tradizionale. L'adozione di gas o di aria identifica due diversi procedimenti di fabbricazione del calcestruzzo cellulare. Il gas è ottenuto dalla reazione chimica prodotta dalla polvere di alluminio quando è introdotta nella miscela di calcestruzzo. La miscela così composta si espande generando il calcestruzzo leggero. Il calcestruzzo espanso con aria è ottenuto con l'aggiunta di un legante aereo nella miscela di reazione oppure più semplicemente facendo gorgogliare aria nella miscela di reazione. Il *vetro* cellulare si ottiene con tecniche simili ai polimeri espansi con agenti fisici. Le schiume *ceramiche* vengono ottenute infiltrando sospensioni di polveri ceramiche in spugne polimeriche di supporto; il sistema viene poi passato in forno ad alte temperature: il polimero brucia e si volatilizza

³⁷ *La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria*, Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini.

mentre la polvere ceramica si compatta come nei tradizionali processi di produzione di materiali ceramici. La schiuma risultante sarà il “negativo” della schiuma polimerica di supporto.

Il modo in cui il gas si muove nelle celle adiacenti è il fattore che governa le proprietà fisiche e meccaniche di queste schiume (capacità di isolamento per esempio, termico e acustico). Strutture flessibili, come schiume poliuretatiche, si ottengono quando c'è una elevata percentuale di celle collegate che permette il flusso del gas attraverso la schiuma. Le proprietà di queste strutture dipendono, quindi, sia dalle proprietà fisiche e meccaniche della matrice componente sia dalla morfologia cellulare che si sviluppa secondo le procedure di elaborazione e le condizioni specifiche.

A seconda del tipo e delle quantità relative dei reagenti e additivi nella miscela di partenza è possibile ottenere una enorme varietà di schiume. Generalmente esse sono distinte in base alla morfologia e possono essere suddivise in due classi:

- schiume a celle chiuse
- schiume a celle aperte

Le *schiume a celle chiuse* sono costituite da sfere chiuse adiacenti contenenti gas. Il polimero è confinato principalmente negli spazi tra tre o più sfere adiacenti. Le pareti di due sfere adiacenti sono separate da una sottilissima membrana di polimero.

Nelle *schiume a celle aperte* le sfere sono interconnesse. La sottile membrana presente nella struttura a celle chiuse viene forata durante il processo di espansione e stabilizzazione. In realtà, la maggior parte delle schiume ha una morfologia intermedia e si parla quindi di percentuale di inter-connessione. Naturalmente, al variare della struttura variano le caratteristiche fisiche e meccaniche dell'espanso finale indipendentemente dalle proprietà intrinseche del polimero. Le schiume a celle chiuse presentano proprietà meccaniche superiori in quanto le pareti cellulari, seppur sottilissime, forniscono un contributo aggiuntivo alla rigidità. La morfologia della schiuma influenza notevolmente anche le proprietà di isolamento termico e acustico: le schiume a celle aperte hanno ottime proprietà fonoassorbenti mentre quelle a celle chiuse sono utilizzate per l'isolamento termico.

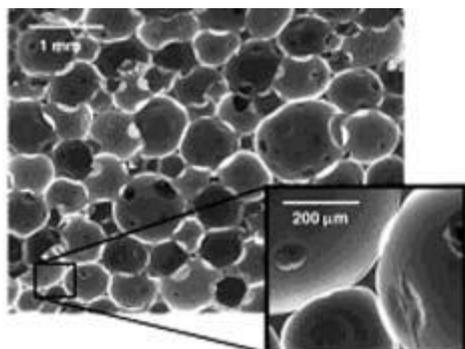


Fig.2.2.3.1_ Micrografia di una schiuma a celle chiuse.

Fonte: *La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria*, Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini.

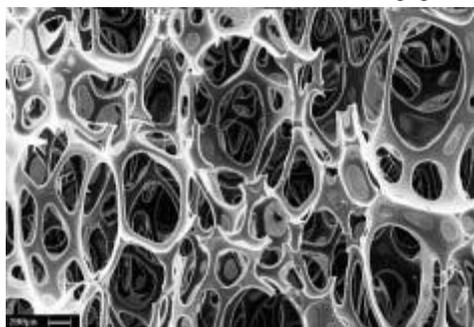


Fig.2.2.3.2_ Micrografia di una schiuma a celle aperte.

Fonte: *La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria*, Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini.

Grazie alle loro proprietà uniche, le schiume polimeriche trovano molte applicazioni nel caso in cui è necessario associare le buone proprietà meccaniche e la ridotta densità, come ad esempio, nell'isolamento acustico e smorzamento, nell'isolamento termico e la resistenza all'urto. Una serie di esempi sono riportati nella **tabella 2.2.3.1**.

Le schiume possono essere preparate in qualsiasi polimero attraverso l'introduzione o la generazione di un gas (agenti schiumogeni) in una matrice polimerica termoindurente o termoplastica. L'espansione avviene introducendo il gas nel polimero allo stato fuso, per poi stabilizzarlo nello stato solido quando le bolle hanno raggiunto la dimensione richiesta. Soffiando agenti fisici è possibile ottenere una schiuma a bassa densità mentre l'impiego di agenti chimici è per conseguirne una maggiore densità. I primi sono in genere gas o liquidi con punti di ebollizione al di sotto della temperatura di rammollimento della resina, che vengono forzati nel polimero ad alta pressione e si espandono in bolle al momento della riduzione di pressione. Mentre gli espandenti chimici sono sostanze che si decompongono termicamente o che reagiscono chimicamente per generare gas.

Table 1. Foamed plastic products.

Functions	Markets	Features	Polymers
Cushioning	<ul style="list-style-type: none"> • Furniture • Transportation • Construction 	Energy absorption	Flexible PU, PE, ABS
Insulation	<ul style="list-style-type: none"> • Construction • Automotive 	<ul style="list-style-type: none"> • Low thermal conductivity • Sound absorption 	Rigid and flexible PU, PS, PE, rigid vinyl
Protection	Packaging	<ul style="list-style-type: none"> • Soft and flat surface 	RIM PU, PS beads, PS, PE and PP sheets
Strength/Weight	<ul style="list-style-type: none"> • Sporting equipment • Construction • Marine, Medical • Decoration • Household 	<ul style="list-style-type: none"> • Cushioning Strength and softness	RIM PU, x-linked PE, PS, PVC, flexible PU, phenolics, acrylics
Impact Absorption	<ul style="list-style-type: none"> • Automotive • Sporting equipment 	Sharp energy absorption	PS and PP beads, x-linked PE
Thermal/Chemical/ Electrical	<ul style="list-style-type: none"> • Thermoforming • Packaging • Electrical 	<ul style="list-style-type: none"> • Thermal strength • Chemical and electrical inertness 	PS, x-linked PE, flexible vinyl epoxy, silicones rubber

Tab.2.2.3.1_ Prodotti realizzati con le schiume. Fonte: *La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria*, Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini.

I polimeri più comuni utilizzati per la formazione di schiuma con agenti chimici o fisici soffiati sono le resine termoplastiche seguenti:

- polistirolo (PS) e le sue miscele e copolimeri (HIPS, SB, SAN, ABS)
- polietilene a bassa densità (LDPE) e copolimeri EVA
- cloruro di polivinile (PVC)
- Polipropilene (PP)

Tra questi, il polistirene espanso (EPS) è ampiamente utilizzato in confezioni monouso a causa della sua bassa densità, isolamento termico, resistenza e basso costo. L'ampia diffusione di questi materiali ha stimolato l'interesse nello sviluppo di innovazioni utili relative a procedure rispettose dell'ambiente e dei materiali. La biodegradazione può essere considerata come un possibile approccio per risolvere il problema dello smaltimento, soprattutto quando il riciclaggio è difficile o costoso.

Le schiume da polimeri biodegradabili³⁸

E' possibile l'utilizzo di polimeri biodegradabili (sia naturali che sintetici) per la produzione di schiume e schiume rinforzate. I polimeri biodegradabili come PCL, poli (acido L-lattico) (PLLA), poli (acido lattico-co-glicolico) (PLGA), poli (acido glicolico) (PGA) e i loro copolimeri, poliuretani (PU), e polimeri naturali sono adatti per essere usati come una schiuma matrice. L'uso di gas reattivo come azoto (N₂), argon (Ar), anidrite carbonica e di CO₂ supercritica come agenti schiumogeni è utile anche per lo sviluppo di processi di schiumatura più rispettosi dell'ambiente. In realtà, questi gas possono essere utilizzati come sostituti dei tradizionali agenti espandenti (ad esempio, CFC e HCFC), che sono chiaramente riconosciuti come contributori al depauperamento dello strato di ozono e quindi sono stati vietati dal Protocollo di Montreal del 1987. I polimeri biodegradabili sono già utilizzati in molte applicazioni biomediche, come le suture biodegradabili, le medicazioni, le protesi riassorbibili, i sistemi di somministrazione di farmaci, e le applicazioni in cui è giustificato il costo elevato dei materiali. Tuttavia, il loro uso in applicazioni delle materie prime, come il confezionamento o l'agricoltura, è ancora limitato sia per motivi economici che per difficoltà connesse alla loro trasformazione, spesso a causa della loro scarsa stabilità termica. Tra i più interessanti polimeri biodegradabili che possono essere potenzialmente impiegati per la formazione di schiuma sono i poliesteri sintetici (ad esempio, acido polilattico (PLA), poli-caprolattone (PCL) e i loro copolimeri, polyesteramide e biopolimeri quali polisaccaridi e proteine).

³⁸ *Biodegradable Foams*, Salvatore Cotugno, Ernesto Di Maio, Salvatore Iannace, Giuseppe Mensitieri, Luigi Nicolais

3/4	Types and families	Features and performances	Environmental advantages with life cycle in comparison with the corresponding synthetic elements	Present and potential applications
B I O D E G R A D A B L E	<p>Nonreactive gases as blowing agents: azote (N₂), argon (Ar), supercritical Carbon dioxide (CO₂)</p> <p>Foam matrix:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Polycaprolactone PCL ● Poly(L-lactic acid) (PLLA) ● Poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA) ● Poly(glycolic acid) (PGA) & i their copolymers ● Polyurethanes (PUs) ● Natural polymers ● Sintetic polyesters (for example, polylactic acid (PLA), (PCL) & their copolymers ● Polyesteramide 	<ul style="list-style-type: none"> ● Renewable resource ● Low density ● Lightness ● Thermoplastic or Thermosetting ● Flexibility, stiffness ● Thermal insulation (close cell foam) ● Phono-absorbent (open cell foam) ● Shape memory (flexible ones) ● Impact resistance ● Biodegradable 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conservation of fossil raw materials ● Reduction of waste volume ● Reduction of Carbon dioxide released in the atmosphere 	<p>Adopted by:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● the automotive and transport ● building and construction sector ● medical and pharmaceutical sector ● marine, sport and leisure markets

Tab.2.2.3.2_ Tabella riassuntiva sulle schiume biodegradabili elaborata dall'autore per l'articolo *Innovation of Materials for Ecological Buildin Product*, Francese D., Mensitieri G., Balestra C, atti del Convegno ACE-X 2011, 5th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, Algarve, Portogallo.

2.2.4 Esame critico delle potenzialità ecosostenibili e biocompatibili dei biocompositi

I polimeri rinforzati diffusi sul mercato sono spesso causa di notevoli problemi in termini di riutilizzo o riciclaggio a fine vita. Ciò è dovuto soprattutto ai composti costituiti da fibre e matrici molto stabili. I materiali biocompositi possono fornire un vantaggio competitivo per i produttori rispetto alle tradizionali fibre di rinforzo, il vetro e le resine poliestere, come il riutilizzo dei prodotti o il riciclaggio a fine vita. Inoltre, vantaggi tecnici come la bassa densità, l'alta durezza, l'accettabile peso specifico, le proprietà di resistenza, la facilità di separazione, il recupero di risorse energetiche, il sequestro di anidride carbonica e la biodegradabilità sono tutti fattori importanti per promuovere la crescita di mercati basati sui biocompositi.

La capacità di migliorare l'isolamento termico e la minore densità dei biocompositi potrebbero tradursi in applicazioni che consentirebbero un significativo risparmio energetico in campo architettonico. Inoltre, la volontà di promuovere l'uso di colture per usi industriali, cioè per scopi non alimentari, sta guidando l'adozione dei materiali composti. Oltre a fornire una materia prima rinnovabile per una vasta gamma di applicazioni industriali, lo sviluppo di una industria sostenibile con colture industriali contribuirà a ringiovanire le assediate comunità rurali di vari paesi del mondo, in particolare se si verifica l'elaborazione locale.

Se i biocompositi devono essere venduti sulle loro credenziali ambientali, allora è fondamentale che queste siano suffragate da valutazione del ciclo di vita (LCA). Infatti, è stato dimostrato che il maggiore impatto in termini ambientali spesso nasce dalla matrice polimerica e è in parte per questo motivo che esiste un interesse significativo diretto verso lo sviluppo di termoplastiche a base bio e di resine termoplastiche.

2.2.5 Ricerche e sperimentazioni in atto

In numerosi paesi del mondo sono in atto ricerche e sperimentazioni sui biocompositi. Nel seguito sono riportate le conclusioni di alcuni di questi studi. Per facilità di comprensione sono stati raggruppati in due insiemi biocompositi biodegradabili con resina e fibre naturali e biocompositi a matrice polimerica e fibre naturali di rinforzo.

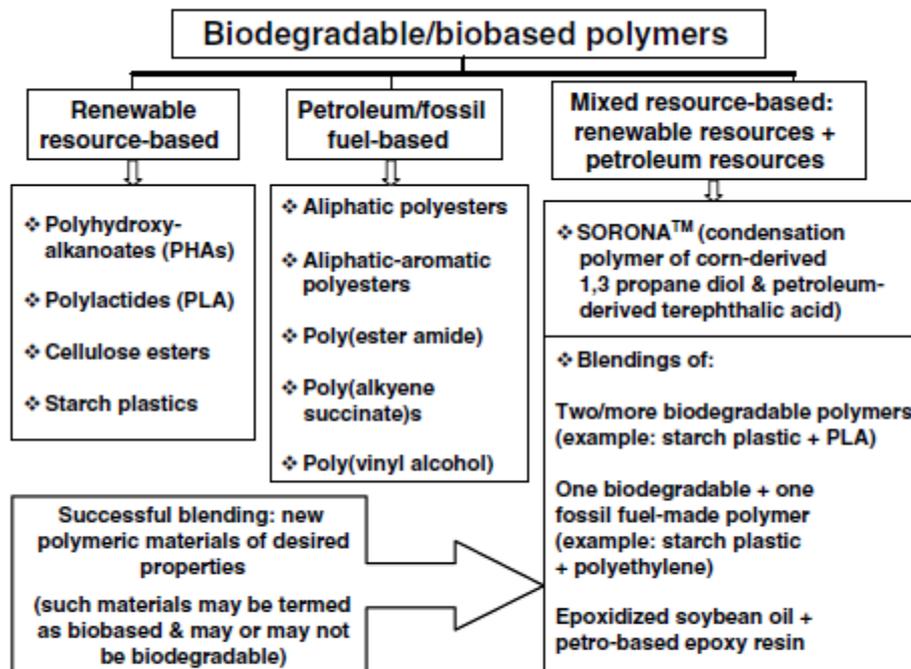


FIGURE 1.7
Broad classification of biodegradable polymers/biobased polymers.

Fig.2.2.5.1_ Classificazione dei polimeri biodegradabili e dei polimeri a base bio. Fonte: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, Susan E. Selke, Bruce R. Harte, and Georg Hinrichsen. Copyright@2005 by Taylor & Francis

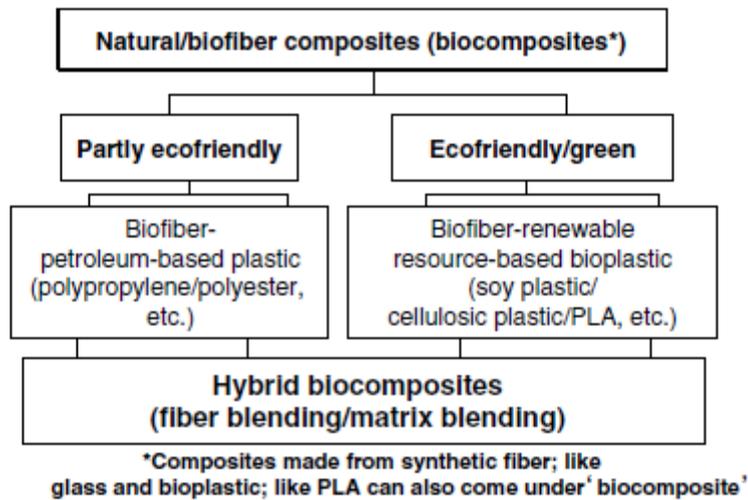


FIGURE 1.2
Classification of biobased composites.

Fig.2.2.5.2_ Classificazione dei biocompositi. Fonte: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, Susan E. Selke, Bruce R. Harte, and Georg Hinrichsen. Copyright@2005 by Taylor & Francis

2.2.5.1 Biocompositi biodegradabili con resina e fibre naturali

Questi materiali compositi in fibra naturale e biopolimero possono fornire strutture totalmente composte da risorse rinnovabili e biodegradabili.



Fig.2.2.5.1.1_ An example of eco-composite process, from the corn to the extruded components. Fonte: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, Susan E. Selke, Bruce R. Harte, and Georg Hinrichsen. Copyright@2005 by Taylor & Francis.

Pannelli strutturali e travi di resina di olio di soia e fibre naturali (Delaware, USA)

Una interessante ricerca americana³⁹ ha sperimentato pannelli strutturali e campioni di travi fabbricati completamente da fonti rinnovabili: con resina a base di olio di soia (naturale e biodegradabile) e fibre naturali (lino, cellulosa, pasta di legno, carta riciclata, penne di pollo), usando la tecnologia VARTM. Il processo VARTM è un metodo di infusione sotto vuoto spinto, un processo di produzione economico e molto pulito. Lo sviluppo della resina termoindurente bio a partire da oli vegetali come la soia è stato fatto dal ACRES (Affordable Composites from Renewable Sources), presso l'Università del Delaware.

L'obiettivo finale della ricerca studiata è quello di sviluppare pannelli strutturali monolitici che sarebbero adatti per essere utilizzati come portanti sul tetto, o per pavimenti o pareti di una casa. Sono stati progettati e fabbricati prototipi di trave che sono poi stati testati in quattro punti della configurazione per determinare la loro resistenza a flessione, la rigidità e le modalità di guasto.

I materiali utilizzati nella fabbricazione delle travi sono stati resina a base di olio di soia, fibre naturali (lino, carta riciclata e penne di pollo), fibra di vetro e schiuma a cellule chiuse.

Le fibre naturali, come abbiamo visto, presentano molte proprietà vantaggiose nel rinforzo dei compositi. Si tratta di un materiale a bassa densità che permette di ottenere un composto relativamente leggero, con elevate proprietà specifiche.

La schiuma necessaria per la fabbricazione del fascio contribuisce in modo significativo all'isolamento termico riducendo al minimo le perdite di energia, ma non contribuisce in modo significativo alla resistenza e alla rigidità del composito. La schiuma è chiusa in una cella di poliisocianurato che è chimicamente simile ma ha prestazioni più elevate del poliuretano espanso. L'eccezionale resistenza termica e all'umidità fanno di questa schiuma un isolante altamente efficace.

Le prove chimiche e fisico-meccaniche delle travi hanno dato buoni risultati in linea con le prestazioni strutturali desiderate.

³⁹ *All natural composite sandwich beams for structural applications*, M.A. Dweib a, B. Hu b, A. O'Donnell a, H.W. Shenton b, R.P. Wool a, (a) ACRES Group, Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials, University of Delaware, Newark, DE 19716-3144, USA, (b) Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA

Il modulo a flessione è aumentato da 1 GPa per la resina di base a circa 6 GPa quando la resina stessa è stata rafforzata con la carta riciclata ottenuta da vecchie scatole di cartone.

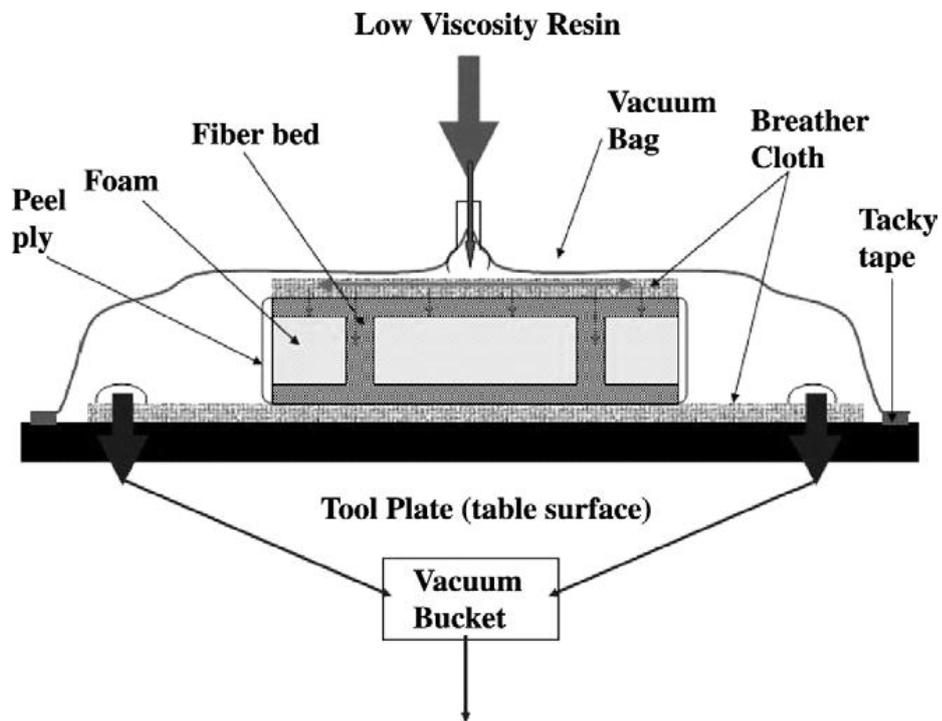


Fig.2.2.5.1.2_ Sezione della trave realizzata con resina a base di olio di soia, fibre naturali (lino, carta riciclata e penne di pollo), fibra di vetro e schiuma espansa a cellule chiuse. Fonte: *All natural composite sandwich beams for structural applications*, M.A. Dweib, B. Hu, A. O_Donnell, H.W. Shenton, R.P. Wool, Delaware, USA

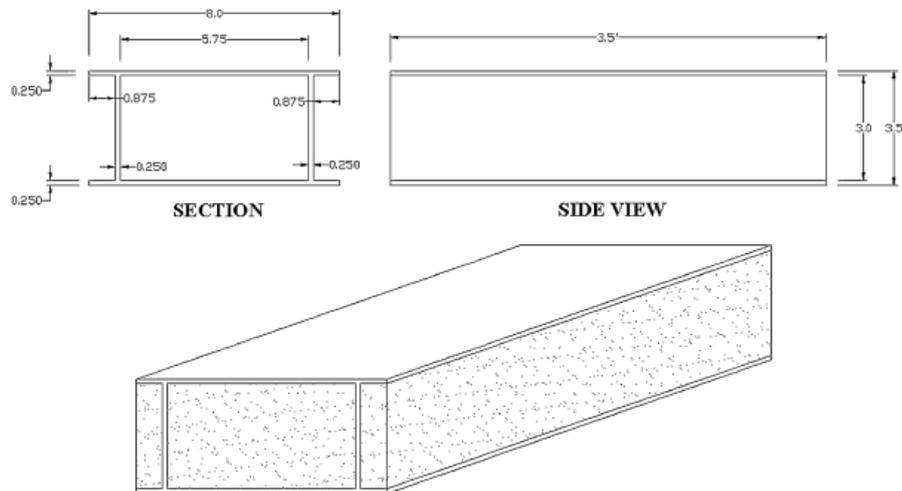


Fig. 2. A schematic diagram showing the dimensions of the test beams. Dimensions are shown in inches.

Fig.2.2.5.1.3_ Schema dimensionale della trave realizzata con resina a base di olio di soia, fibre naturali (lino, carta riciclata e penne di pollo), fibra di vetro e schiuma espansa a cellule chiuse. Fonte: *All natural composite sandwich beams for structural applications*, M.A. Dweib, B. Hu, A. O_Donnell, H.W. Shenton, R.P. Wool, Delaware, USA

La sperimentazione della trave in carta riciclata non è riuscita. Questo è stato attribuito alla elevata densità e bassa permeabilità della carta. Per correggere il problema, sono state utilizzate combinazioni di fibre, ma il primo tentativo di fare una struttura a tre dimensioni non è riuscito a causa di problemi legati al flusso della resina. Per fornire canali di flusso per la resina sono state utilizzate altre fibre porose in piccole quantità insieme con il rinforzo principale (carta riciclata). Sono stati utilizzati allo scopo tre diversi tipi di materassini in fibra porosa, o fibre con una struttura di canale aperto:

- stuoie di piume di pollo
- una forma ondulata della stessa carta riciclata
- fibra di vetro

Le combinazioni tra le fibre per i cinque prototipi sono state le seguenti: 1. stuoie di lino, 2. fibra di vetro, 3. stuoie di carta riciclata e penne di pollo, 4. carta riciclata e carta ondulata del medesimo materiale riciclato, 5. Carta riciclata e tessuti in fibra di vetro. Il fascio di lino ha avuto un guasto fragile come integrale di una struttura omogenea. La frattura fragile è stata riscontrata anche nella trave in carta riciclata con piume di pollo e in quella con tutta carta riciclata. Quella

con all'interno le fibre di vetro si è dimostrata come la più resistente, con un carico massimo di 39 kN. La trave successiva più forte è stata quella con il fascio di carta riciclata. I carichi di rottura di queste travi erano tutti molto vicini, e variava da un minimo di 24,2 kN per il fascio di piume di pollo, ad un massimo di 25,8 kN per il fascio con carta ondulata. Le modalità di fallimento delle varie travi sono state, però, molto diverse. Il fascio di lino è fallito senza preavviso, in modo fragile. Due delle travi di carta riciclata con piume di pollo e carta ondulata non sono fallite in maniera fragile. Quelle con il fascio di vetro e il fascio di carta riciclata e vetro si sono rotte in un modo molto più duttile. La piccola quantità di vetro aggiunta alla trave con carta riciclata è stata sufficiente a modificare la modalità di guasto.

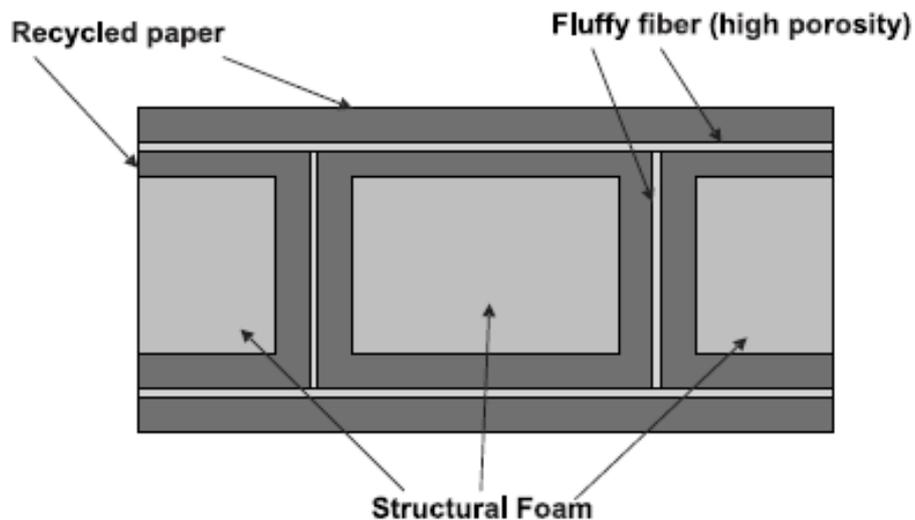


Fig. 9. A schematic showing the porous fiber in the preform.

Fig.2.2.5.1.4 _ Schema della trave realizzata con resina a base di olio di soia, fibre naturali (lino, carta riciclata e penne di pollo), fibra di vetro e schiuma espansa a cellule chiuse. Fonte: *All natural composite sandwich beams for structural applications*, M.A. Dweib, B. Hu, A. O_Donnell, H.W. Shenton, R.P. Wool, Delaware, USA

La modalità di guasto, la fragilità o la duttilità del materiale, sono molto importanti per le applicazioni nelle costruzioni. Una rottura fragile si era verificata per la carta / fascio ondulato. Il fascio di carta / vetro ha avuto un fallimento duttile. Dunque i risultati mostrano che il fascio di carta riciclata con piume di pollo e il fascio di carta riciclata con il cartone ondulato hanno rigidità flessionale paragonabile a quelle del cedro. Il fascio con un po' di vetro è rigido come il legno. Invece, tutte le travi miste sono più forti del legno, e nella maggior parte dei

casi, le travi composte hanno punti di forza quasi pari o superiori a quelli del legno.

Il confronto mostra che le travi composte in carta riciclata hanno punti di forza e rigidità che le rendono adatte per l'uso in applicazioni strutturali in cui viene normalmente utilizzato il legno.

Quindi la carta riciclata da vecchie scatole di cartone ha superato in resistenza e rigidezza altre fibre naturali. Mentre i materassini in fibra porosa come le piume di pollo, il lino e la forma ondulata della carta riciclata hanno avuto un ruolo molto importante nel fornire canali di flusso per la matrice, poiché la carta riciclata ha una forma delle fibre molto compatta che rende lento il flusso attraverso il fascio. Il tessuto di vetro molto lungo è stato usato solo in una piccola quantità con la carta riciclata per fornire canali al flusso e la duttilità necessaria a mantenere il fascio insieme dopo il fallimento.

Composito Kenaf/PLA⁴⁰ (Natori, Japan)

La ricerca studia i materiali compositi biodegradabili unidirezionali fatti da fibre di kenaf e un tipo di emulsione di resina PLA. Le analisi termiche delle fibre di kenaf hanno rivelato che la resistenza alla trazione di queste fibre diminuisce se sottoposte a 180° C per 60 min. Pertanto, i composti organici sono stati fabbricati ad una temperatura di stampaggio di 160° C. Essi hanno mostrato resistenza a trazione e a flessione, rispettivamente, di 223 MPa e 254 MPa. Inoltre, la resistenza alla flessione e il modulo elastico sono aumentate in modo lineare fino ad un contenuto di fibre del 50%. La biodegradabilità dei compositi kenaf / PLA è stata esaminata per quattro settimane con una macchina di trattamento rifiuti. I risultati sperimentali hanno mostrato che il peso del materiale composito è diminuito del 38% dopo quattro settimane di compostaggio.

Recenti studi hanno indagato lo sviluppo dei materiali compositi biodegradabili che usano fibre naturali come lino (Stuart et al., 2006; Oksman et al 2003.), il bambù (Lee e Wang, 2005), l'ananas (Liu et al 2005.; Luo e Netravali, 1999), la seta (Lee et al., 2005), il sisal (Alvarez e Va'zquez, 2004), la iuta (Plackett et al., 2003), il kenaf (Nishino et al., 2003), e il ramiè (Lodha e Netravali, 2005)

⁴⁰ *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites* Shinji Ochi, Department of Mechanical Engineering, Miyagi National College of Technology, Natori 981-1239, Japan, 2007.

come rinforzo per la plastica biodegradabile. Questi studi hanno esaminato le condizioni di stampaggio, le proprietà meccaniche, ed il legame interfacciale. Tuttavia, i processi di utilizzo di fibre vegetali come rinforzo sono diversi da quelli industriali prodotti utilizzando il carbonio e le fibre di vetro. La forma, le dimensioni e la forza delle fibre vegetali naturali, come abbiamo visto, può variare notevolmente a seconda dell'ambiente di coltivazione, regione di origine, e altre caratteristiche.

A loro volta, queste caratteristiche delle fibre naturali sono suscettibili di influenzare le proprietà meccaniche della plastica rinforzata. La presente ricerca studia come l'ambiente di coltivazione delle piante modifica la resistenza a trazione della fibra e quindi del biocomposito in cui viene utilizzata.

Prende in analisi fibre di kenaf coltivate in una regione fredda (temperatura media 22° C) e in una regione calda (temperatura media 30° C) in Giappone. Per trovare un indicatore delle condizioni più adatte, esamina le proprietà meccaniche delle fibre di kenaf. Inoltre studia la biodegradabilità e le proprietà meccaniche dei materiali compositi biodegradabili che utilizzano le fibre di kenaf come rafforzamento e resina PLA come matrice.

Table 1
Properties of PLA resin used as matrix

Density (g/cm ³)	1.2
Tensile strength (MPa)	32.5
Tensile modulus (GPa)	3.8
Flexural strength (MPa)	71.5
Flexural modulus (GPa)	4.9

Tab.2.2.5.1.1_ Proprietà del PLA utilizzato come matrice nello studio presentato. Fonte: *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites Shinji Ochi, Department of Mechanical Engineering, Miyagi National College of Technology, Natori 981-1239, Japan, 2007.*

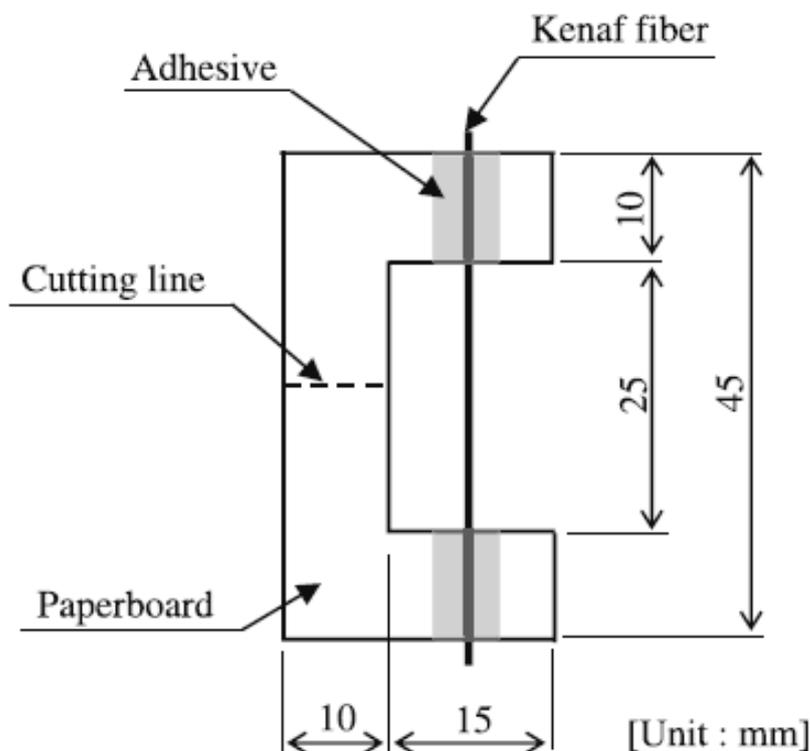


Fig. 2. Tensile specimens for kenaf fibers.

Fig.2.2.5.1.5_ Fonte: *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites Shinji Ochi, Department of Mechanical Engineering, Miyagi National College of Technology, Natori 981-1239, Japan, 2007.*

La ricerca ha concluso che il kenaf sotto la condizione A è cresciuto di circa 2000 mm, mentre quello coltivato in condizione B era di circa 3.650 millimetri. La condizione di resistenza alla trazione e il modulo elastico del kenaf coltivato in condizioni di B sono stati maggiori rispetto a quelli cresciuti sotto la condizione A. Le fibre dalla parte inferiore della pianta hanno mostrato la tendenza ad avere valori di resistenza alla trazione maggiori. Pertanto, per il prosieguo della ricerca, sono state utilizzate le fibre di kenaf prese dalla parte più bassa della pianta.

Inoltre, si è tenuto conto del fatto che la temperatura di trasformazione per la fabbricazione dei compositi rinforzati con fibre di kenaf deve essere tenuta sotto 160 ° C per 60 min o 180 ° C per 30 min per evitare la riduzione di resistenza dovuta alla degradazione termica. La resistenza alla trazione e alla flessione sono state, rispettivamente, di 223 e 254 MPa, nei campioni con una frazione di fibra del 70%. Secondo i risultati ottenuti da altri ricercatori, la resistenza alla trazione dei compositi in PLA rinforzati con le fibre di lino (Oksman et al., 2003), di

bambù (Lee e Wang, 2005) e di kenaf (Nishino et al., 2003) sono, rispettivamente 53, 45 e 60 MPa.

La ricerca ha concluso che i compositi biodegradabile in kenaf / PLA fabbricati utilizzando fasci di fibre di kenaf e una resina biodegradabile hanno dato i seguenti risultati:

1. La fabbricazione delle plastiche ad alta resistenza fibro-rinforzate con kenaf richiede fibre di kenaf ottenute dalla sezione degli impianti più vicini al suolo.

2. La resistenza alla trazione delle fibre di kenaf sottoposte a trattamento termico a 160° C per 60 minuti non è diminuita. Così, 160° C è la temperatura di costruzione più alta che non pregiudica la forza delle fibre.

3. I compositi biodegradabili unidirezionali fabbricati con un tipo di resina PLA e fibre di kenaf ad un tenore di fibre 70% presentano alti carichi di rottura di 223 MPa e a flessione 254 MPa.

4. Il composito kenaf/PLA, dopo il compostaggio per quattro settimane ha una resistenza alla trazione e una diminuzione di peso, rispettivamente, del 91% e del 38%. Quindi ha confermato sperimentalmente la biodegradabilità del materiale composito studiato.

Composito lino e copolimero PHB/PHV⁴¹ (Melbourne, Australia)

La ricerca australiana studia i compositi preparati utilizzando PHB, PHV e le fibre di lino. L'adesione tra le fibre e il poliestere PHB/PHV è migliore che per i materiali compositi di polipropilene analoghi. La bagnatura delle fibre da parte del poliestere è stata osservata al microscopio a scansione elettronica. Le caratteristiche del composito sono state limitate dalle proprietà del poliestere poiché il PHB è un polimero fragile, anche se la flessibilità è migliorata nella sua copolimerizzazione con il PHV, ma a scapito della velocità di cristallizzazione. La nucleazione delle fibre è stata aumentata utilizzando come promotore di adesione l'agente silano. Le fibre di vetro, come già abbiamo visto, hanno una densità elevata, sono difficili da riciclare, e non biodegradabili. Il confronto con le fibre natura-

⁴¹ *Thermoplastic Biopolyester Natural Fiber Composites* R. A. Shanks, A. Hodzic, S. Wong, CRC for Polymers, Applied Chemistry, RMIT University, Melbourne, Australia

li, come il lino, dimostra che anche se il vetro ha proprietà superiori, le proprietà meccaniche specifiche del lino sono comparabili.

Una fibra naturale come il lino ha il modulo e la resistenza alla trazione molto maggiore del PHB, il che comporta il significativo miglioramento delle proprietà se il legame interfacciale è adeguato. Inoltre, la combinazione di PHB e di fibre di lino fornisce un sistema completamente composto da risorse naturali rinnovabili. Il composito è anche facilmente biodegradabile, a differenza di qualsiasi composito con fibre di vetro. Le fibre cellulosiche tendono a degradare a circa 200°C e rapidamente diventano friabili con conseguente perdita di acqua. Questa fragilità deve essere evitata se le fibre cellulosiche devono essere utilizzate come rinforzo nei compositi. Il PHB ha una temperatura sufficientemente bassa per permettere l'elaborazione di stampaggio senza degradazione delle fibre. La temperatura di fusione di PHB è sufficientemente elevata da garantire che la sua deformazione termica e la temperatura di rammollimento forniscano proprietà termiche stabili al composito. Al fine di migliorare le proprietà, la sperimentazione ha biosintetizzato il PHB con il PHV in un copolimero (PHB-PHV). La commercializzazione di PHB-PHV non è ancora stata attuata a causa dei costi elevati, della ridotta differenza tra la degradazione termica e la temperatura di fusione, e della bassa resistenza all'impatto dovuta alla cristallinità elevata. La temperatura di fusione è stata segnalata a circa 180 °C, tuttavia, può essere modificata, modificando il contenuto di PHV. Altri polimeri con temperature di fusione simili dovrebbero essere adatti per la formazione di compositi con fibre naturali, come il polipropilene. Fibre come il lino, la canapa, il kenaf, il ramie, il sisal possono essere utilizzate.

La morfologia dei compositi biopoliestere e lino è stata studiata usando la microscopia elettronica a scansione (SEM), e la cristallizzazione di calorimetria differenziale a scansione (DSC). Le proprietà meccaniche sono state studiate utilizzando l'analisi meccanica dinamica (DMA). Le fibre sono state essiccate in un forno a vuoto per 5 ore a 40° C per eliminare l'umidità che avrebbe potuto inibire il legame tra il polimero e la superficie della fibra. Le fibre trattate sono state ulteriormente asciugate in un forno a vuoto per 3 ore, prima di essere utilizzate.

La preparazione dei compositi è avvenuta sciogliendo il biopoliestere nel cloroformio, in cui poi è stato disperso il lino. Il composito è stato poi tagliato in piccoli pezzi e pressato in un foglio in una pressa riscaldata a 180 °C. Per 5 minuti non è stata applicata nessuna pressione, poi per 5 minuti sono state applicate 2 tonnellate di pressione e, infine, è stata applicata per 5 min la pressione di 3,5 tonnellate. Il foglio è stato ulteriormente compresso in un bar, alle stesse condizioni della stampa riscaldata, con un 1 mm di lastra di teflon come distanziatore. La bagnatura tra fibra di lino e il PHB, un polimero di superficie leggermente ru-

vida, è risultata buona. Per il copolimero con PHV, la bagnatura sembra essere leggermente migliorata grazie alla superficie polimerica più liscia. Il trattamento delle fibre con un agente silano per migliorare il legame interfacciale si è dimostrato essere efficace per tutti i compositi utilizzati in questo studio.

La ricerca ha concluso che:

- I biocompositi biodegradabili PHB-lino e PHB-PHV-lino posseggono buone proprietà meccaniche, confrontabili o migliori di quelle dei polimeri termoplastici commerciali.
- L'applicazione di un agente silano, il promotore di adesione utilizzato con successo per compositi a fibra di vetro rinforzata, ha migliorato anche il modulo di stoccaggio dei biocompositi PHB-lino fino al 106%.
- I biocompositi fatti con lino e copolimero PHV-PHB, con il contenuto di 5% di PHV e del 12% PHB, ha fatto aumentare il modulo di stoccaggio, rispettivamente, da 44,5 fino al 81%.
- L'applicazione di un agente silano ha migliorato significativamente il modulo di stoccaggio del biocomposito PHB-PHV-lino e ha aumentato la temperatura di fusione, migliorando così la processabilità. L'accoppiamento dell'agente silano nel copolimero PHV-PHB ha causato una rapida nucleazione e cristallizzazione, iniziata nell'interfase tra le fibre e il biopolimero.

TABLE I
Designations and Thermal Properties of Biopolyester-Natural Fiber Composites Used in This Study

Composite material	Designation	T_g (°C)	T_m (°C)	T_g
PHB-flax	PHB-F	80.1	174	18.2
PHB-silano-treated flax	S-PHB-F	74.6	172.7	24.5
(PHB with 5% PHV)-flax	PHB-PHV5-F	80.3	165.2	24
(PHB with 5% PHV)-silano-treated flax	S-PHB-PHV5-F	75	170	23.3
(PHB with 12% PHV)-flax	PHB-PHV12-F	52.4	159	17.4
(PHB with 12% PHV)-silano-treated flax	S-PHB-PHV12-F	53	163.5	26

Tab.2.2.5.1.2_ Proprietà del biocomposito utilizzato nello studio presentato. Fonte: *Thermoplastic Biopolyester Natural Fiber Composites* R. A. Shanks, A. Hodzic, S. Wong, CRC for Polymers, Applied Chemistry, RMIT University, Melbourne, Australia.

2.2.5.2 Biocompositi a matrice polimerica e fibre naturali di rinforzo

Biompositi rinforzati con curauà e piassava⁴² (Rio de Janeiro, Brazil)

La ricerca studia come stanno guadagnando l'attenzione le fibre naturali, soprattutto fibre lignocellulosiche estratte dalle piante, come rinforzi di compositi a matrice polimerica (PMC) a causa dei loro vantaggi comparativi sulle fibre sintetiche. Le fibre naturali sono relativamente a basso costo, rinnovabili e biodegradabili. I loro sistemi di produzione sono associati con attrezzature a bassa usura e sono efficienti. Inoltre, l'inserimento di fibre lignocellulosiche in PMC può significativamente migliorare alcune caratteristiche meccaniche. La cellulosa ricca di fibre di lignina estratte da piante coltivate come la juta, il sisal, la canapa, il cocco, il lino, il legno, l'ananas, e molti altri sono tipici esempi di materiali naturali. Queste fibre lignocellulosiche sono state ampiamente studiate negli ultimi dieci anni come eventuali sostituti delle fibre sintetiche tradizionalmente usate come fase di rafforzamento dei compositi polimerici. Le fibre sintetiche (come il vetro e il carbonio) sono ampiamente prodotte in paesi altamente industrializzati, mentre le fibre lignocellulosiche vengono coltivate principalmente nelle regioni tropicali in fase di sviluppo. Ciò è di grande importanza sociale e rappresenta una fonte di reddito per sostenere l'economia delle popolazioni locali in Africa, in America Latina e in Sud Asia. Per esempio, le fibre come curauà, piassava, buriti, ramiè, e pan di zucca, dal Rio delle Amazzoni e altre regioni del Sud America, che sono tradizionalmente utilizzati nei semplici articoli domestici, sono attualmente oggetto di studio come rinforzi dei compositi. Un caso rilevante di sostituzione di fibre lignocellulosiche è nei veicoli.

Da un punto di vista pratico, le fibre naturali come biomateriale hanno dimensioni che sono ostacolate dalle loro limitazioni anatomiche. Un altro svantaggio delle fibre lignocellulosiche è il fatto che, a causa della loro cera naturale, tendono ad assorbire l'acqua attraverso la loro superficie idrofila. Di conseguenza, come abbiamo visto, si forma un legame debole tra la superficie di una fibra ligno-cellulosica e il polimero idrofobo (come il poliestere, esteri del vinile e resina epossidica), normalmente utilizzato come matrice del composito. In questo caso, il trattamento della superficie con alcali e agenti silani migliora l'aderenza tra la fibra e la matrice e aumenta la forza del PMC. Un'operazione di trattamen-

⁴² *Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher, and Environmentally Friendly* Sergio Neves Monteiro, Felipe Perissé D. Lopes, Ailton Silva Ferreira, and Denise Cristina O. Nascimento

to però comporta costi aggiuntivi e diminuisce la competitività economica della fibra naturale.

L'introduzione delle fibre di Curauá indica un miglioramento significativo della tenacità del PMC. In confronto alle fibre sintetiche, questo è davvero un vantaggio tecnico, che sta attirando le industrie. Queste fibre, in particolare lignocellulosiche estratte dalle piante coltivate, sono abbondanti, biodegradabili, rinnovabili, e neutrali rispetto alle emissioni di CO₂ che causano il surriscaldamento globale. I compositi di fibre naturali sono meno costosi e non richiedono più energia di trasformazione del vetro sintetico o delle fibre di carbonio.

Physicomechanical Properties of Natural Fiber/Polyester Composite Laminates

Property	Sisal/Polyester (Resin ~ 50 wt%)	Jute/Polyester (Resin ~ 70 wt%)	Coir/Polyester (Resin ~ 70 wt%)
Density (g/cm ³)	1.05	1.22	1.4
Water absorption, 24 hr(%)	3-4	1.09	3-4
Swelling thickness (%)	5	—	5-6
Tensile strength (MPa)	40	66.01	20.40
Elongation (%)	4-6	2.31	0.4-1.0
Tensile modulus (GPa)	2.13	4.42	1.2-2.0
Flexural strength (MPa)	77	93.80	41.54

Tab.2.2.5.2.1_ Fonte: *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, Brett C. Suddell and William J. Evans. Copyright@2005 by Taylor & Francis

4/4		Types and families	Features and performances	Environmental advantages with life cycle ***	Present and potential applications
B I O C O M P O S I T E S	B P B P*	<ul style="list-style-type: none"> ● Composites with thermosetting and natural fibers 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ultimate breaking force and elongation ● Flexural properties ● Impact strength ● Fogging characteristics ● Flammability ● Acoustic absorption ● Suitability for processing: temperature and dwell time ● Odor ● Water absorption ● Weather sensibility ● Dimensional stability ● Crash behavior ● Lightness ● Rigidezza flessionale ● Thermal insulation 	<ul style="list-style-type: none"> ● Reduction of non renewable resource use 	<ul style="list-style-type: none"> ● Building panels and roofing sheets, Door shutters, temporary shelters, bunker houses, storage silos, post office boxes, helmets ● Wood–Plastic Composites WPCs (decking, serramenti, pannelli per autoveicoli e mobili) ● Automotive components (interior front door liners, Rear door liners, Boot liners, Parcel shelves, Seat backs, Sunroof interior shields, Headrests) ● Packaging
	B R R B P**	<ul style="list-style-type: none"> ● Cellulose Fiber-Reinforced Cellulose Esters ● Composite with resina di olio di soia and natural fiber ● Composite Kenaf/PLA ● Composite amyd/kenaf and amyd/bagassa ● Composite with linen and copolymer PHB+PHV 	<ul style="list-style-type: none"> ● Renewable resource ● Flexural properties ● Impact strength ● Acoustic absorption ● Lightness ● Flexural stiffness ● Weather sensibility ● Biodegradable (if made up with biodegradable biopolymers) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conservation of fossil raw materials ● Reduction of Carbon dioxide released in the atmosphere ● Reduction of flowing water pollution ● Reduction of waste volume 	<ul style="list-style-type: none"> ● Structural panels & beams ● monolithic, all-natural composite roof system ● All-natural composite chairs ● infrastructural material, such as bridge decking forms, and in furniture manufacturing to replace traditional woods and make it easier to mold furniture components, saving intensive labor usually invested in woodworking.

**Biofiber Petroleum Based-Plastic*

***Biofiber Renewable Resource Based-Plastic*

*** in comparison with the corresponding syntetic elements

Tab.2.2.5.2.2_ Tabella riassuntiva sui biocompositi elaborata dall'autore per l'articolo *Innovation of Materials for Ecological Buildin Product*, Francese D., Mensitieri G., Balestra C, atti del Convegno ACE-X 2011, 5th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, Algarve, Portogallo.

2.2.4.4 Applicazioni attuali e prospettive future

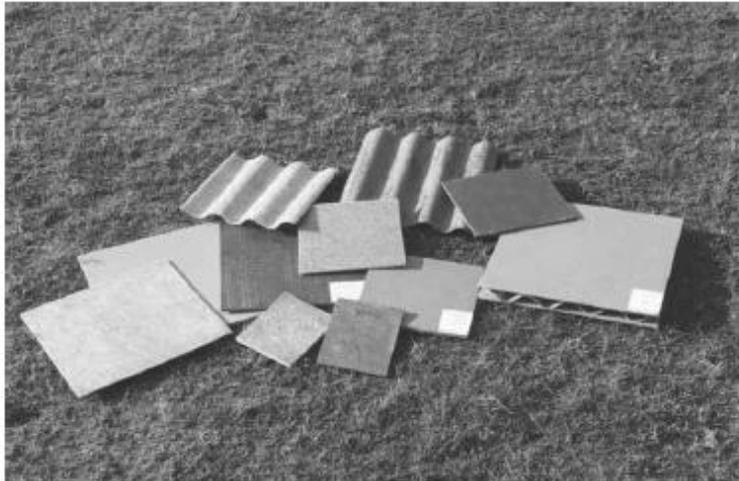
L'industria automobilistica utilizza sempre più questi materiali compositi in fibra naturale nei componenti delle autovetture per motivi economici, ambientali e tecnici. Significative opportunità possono verificarsi anche nel settore delle costruzioni giacché questo è responsabile della produzione di grandi volumi di rifiuti in un momento in cui l'impatto ambientale delle industrie è sotto stretto controllo.

Il miglioramento delle prestazioni meccaniche dei biocompositi esistenti attraverso, ad esempio, l'introduzione di nuovi tipi di fibre, di trasformazione e di additivi può anche portare ad un ampliamento del loro uso nelle più varie, e tecnicamente impegnative, aree di applicazione. La ricerca⁴³ di Paul A Fowler, J Mark Hughes e Robert M Elias sottolinea le possibili applicazioni commerciali dei biocompositi. Rispetto al vetro, la struttura tubolare cava delle fibre naturali garantisce un migliore isolamento contro il rumore e il calore in applicazioni auto motive, quali porte e pannelli del soffitto.

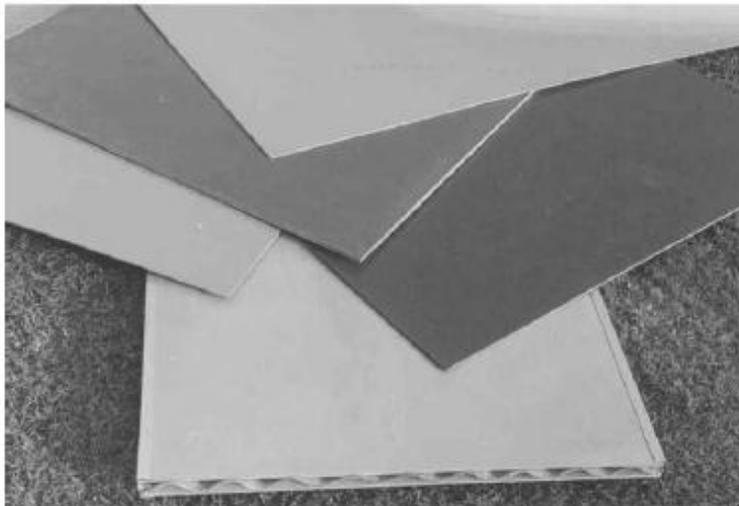
I WPCs, Wood Plastic Composites, realizzati con farina di legno o fibra di legno come rinforzo di polimeri come il polipropilene, polietilene, cloruro di polivinile, sono attualmente una scoperta significativa per l'applicazione commerciale nel settore delle costruzioni. I prodotti formati da WPCs sono comunemente utilizzati in esterno per decking, serramenti, pannelli per autoveicoli e mobili. Tuttavia, i loro usi sono limitati, per applicazioni meccaniche non strutturali perchè la performance è scarsa. Ad esempio WPCs per applicazioni decking sono utilizzati solo sul ponte e non per la struttura di supporto.

L'industria automobilistica sta applicando con successo materiali compositi rinforzati con una varietà di tipi di fibra naturale in sostituzione di componenti come pannelli interni e cuscini di seduta in origine di PMC in vetro e schiume polimeriche, importanti motivi tecnici esistono per questa preferenza. Un PMC (composito a matrice polimerica) rinforzato con fibra naturale crea meno danni agli strumenti e alle attrezzature di stampaggio, oltre ad offrire una migliore finitura. L'argomento più forte, è la legislazione attualmente esistente che indirizza all'utilizzo di PMC con fibre naturali nelle automobili. Infatti, una direttiva della Comunità europea richiede che entro il 2015 i paesi membri prevedano il riuso e recupero di almeno il 95% del materiale proveniente da tutti i veicoli a fine vita. I componenti contenenti le fibre di vetro non possono essere facilmente separati e, quindi, sono difficili da riciclare.

⁴³ Ibidem



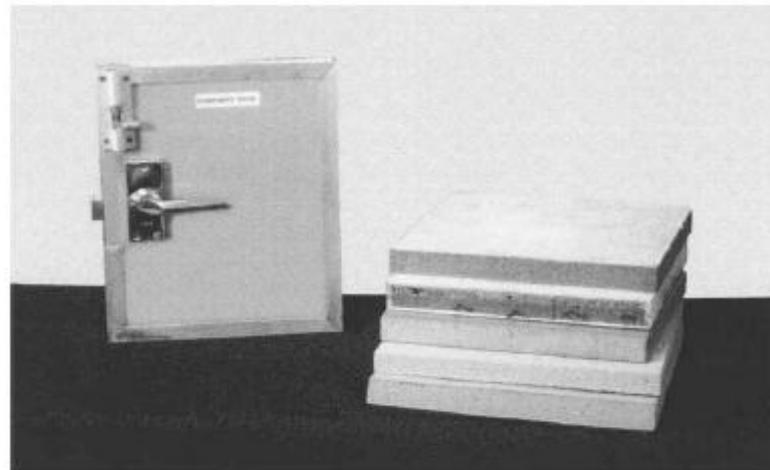
(a)



(b)

FIGURE 8.7
Laminates/panels in (a) laboratory scale, and (b) commercial scale.

Fig.2.2.4.4.1_ Fonte: *Natural Fiber Composites for Building Applications*, Brajeshwar Singh and Manorama Gupta. Copyright@2005 by Taylor & Francis



(a)



(b)

FIGURE 8.8
Jute/sisal doors. (a) Prototype of door and panels. (b) Composite door shutters.

Fig.2.2.4.4.2_ Fonte: *Natural Fiber Composites for Building Applications*, Brajeshwar Singh and Manorama Gupta. Copyright@2005 by Taylor & Francis

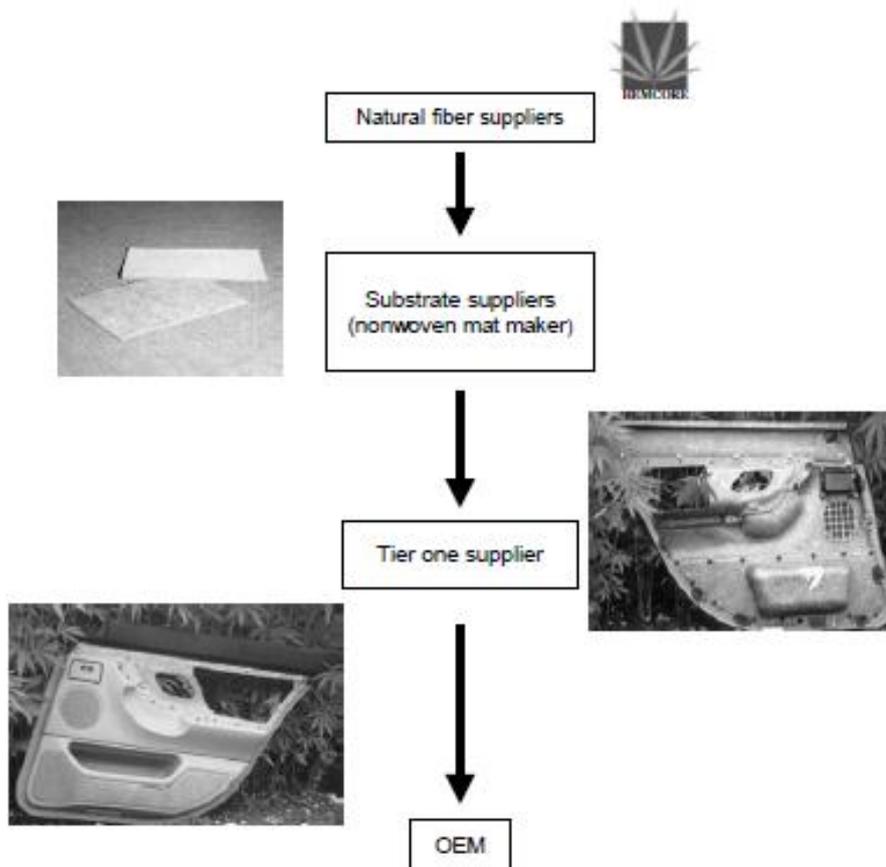


FIGURE 7.8
Production stages from fiber to component. (Courtesy of Hemcore.)

Fig.2.2.4.4.3_ Fonte: *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, Brett C. Suddell and William J. Evans. Copyright@2005 by Taylor & Francis



Fig.2.2.4.4.4_ Top of the range automotive vehicles incorporate many components made from natural fibers [2], an example is shown here [<http://www.reinforcedplastics.com/>].

Fig.2.2.4.4.5_ Enhanced profile made of the Hiendl NFC FRP composite consisting of 30% polypropylene and 70% natural fibres [<http://www.ecocomposites.net/>].

Fig.2.2.4.4.6_ An example of Wood–Plastic Composites WPCs for decking: New DuraLife™ decking from GAF is produced using high density polyethylene reinforced with rice hull fibres [<http://www.reinforcedplastics.com>].



Fig.2.2.4.4.7_ An example of monobloc chairs with compressing hemp and kenaf with BASF's Acrodur water-based thermoset binder from the collaboration betw

Fig.2.2.4.4.8_ WPC-thermal-siding-QVWPC-China-300x201 [<http://blog.composites-europe.com>]een acclaimed designer Werner Aisslinger and BASF [<http://www.ecocomposites.net/>].



FIGURE 7.10
Top of the range automotive vehicles incorporate many components made from natural fibres, as shown here for the Mercedes "E" class.



FIGURE 7.11
Biocomposite interior door panelling constructed by DLR in cooperation with Johnson Controls Interiors.

Fig.2.2.4.4.9_ Fonte: *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, Brett C. Suddell and William J. Evans. Copyright@2005 by Taylor & Francis

Negli Stati Uniti, Environ biocomposites LLC utilizza la paglia di grano nei suoi compositi Biofiber⁴⁴ e la carena di girasole nella sua Dakota Burl⁴⁵. Entrambi sono realizzati con resine di isocianato e sono destinati ad applicazioni mobili. Un'altra azienda statunitense, Flexform Technologies LLC, utilizza il kenaf e la canapa, le fibre di polietilene tereftalato che si fondono con le fibre di polipropilene per la produzione di materiali compositi per varie applicazioni, inclusi i pannelli delle porte e i cruscotti di automobili, i pannelli del controsoffitto acustico e i pannelli a muro. Il Prof Riccardo Lana e i suoi colleghi dell'Università del Delaware hanno collaborato con John Deere & Co. per la produzione di compositi fibrorinforzati in balle di fieno da essere utilizzati come porte. Esistono anche prodotti a base di fibre riciclate, che vengono adoperati per le caselle e altri supporti di imballaggio rigido. *Phenix compositi* ha commercializzato il suo biocomposito a bordo decorativo, *Environ*, fatto con carta straccia riciclata e farina di soia. Environ può essere utilizzato per mobili, ebanisteria e applicazioni architettoniche non strutturali. Essendo completamente degradabile, può anche essere compostato.

Direttive quali la direttiva End of Life Vehicle (ELV) e Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (RAEE) consentono anche di stimolare il miglioramento del 'riciclaggio' dei prodotti.

⁴⁴ Anon, *BIOFIBER Wheat*. [Online]. Available: <http://www.environbiocomposites.com/biofiber.php> [1 November 2005].

⁴⁵ Anon, *Dakota Burl*. [Online]. Available: <http://www.environbiocomposites.com/dakota.php> [1 November 2005].

Altre applicazioni sono i pannelli porta, il legno sagomato, le modanature in fibre naturali, i pannelli laminati, i tetti delle auto. L'uso delle fibre di lino a disco auto-break a sostituire le fibre di amianto, è un altro esempio di questo tipo di applicazione.⁴⁶

Ci sono anche opportunità per i materiali e prodotti ibridi, ad esempio, utilizzando bioresine e bioplastiche come adesivi in luogo degli attuali, a base di adesivi fossili. Ci sono anche buone prospettive per l'utilizzo di fibre rigenerate da prodotti MDF⁴⁷ (medium density fibreboard) o di altri flussi di rifiuti dal settore della pasta e della carta per la fabbricazione di una serie di efficaci ed ecologicamente efficienti materiali e prodotti.

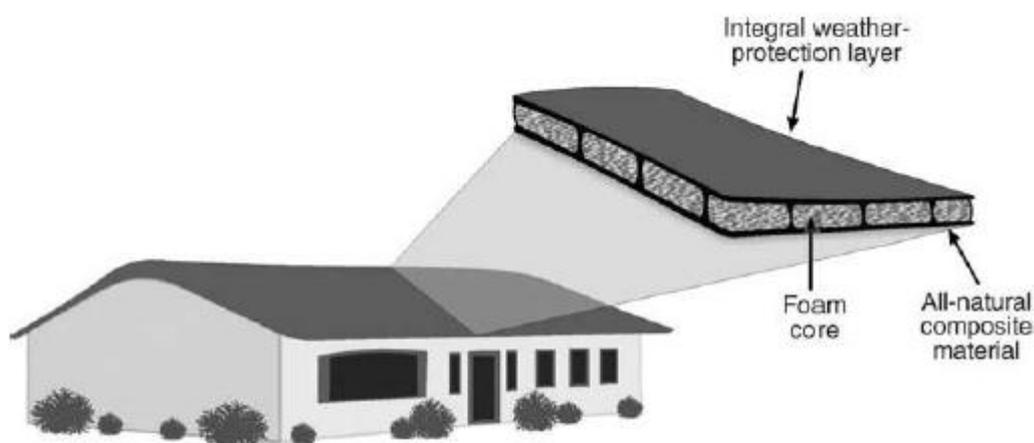


FIGURE 24.5

A schematic showing a monolithic house roof made of natural composites as a hurricane-resistant roof. (From *Newsweek*, October 27, 2003. With permission.)

Fig.2.2.4.4.10_ Fonte: *Houses Using Soy Oil and Natural Fibers Biocomposites*, Mahmoud A. Dweib, Annmarie O'Donnell, Richard P. Wool, Bo Hu, and Harry W. Shenton III

⁴⁶ Composites reinforced with cellulose based fibres, A.K. Bledzki, J. Gassan*, Universita't (Gh) Kassel, Institut fu'r Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo'nchebergstraÙe 3, 34109 Kassel, Germany1998

⁴⁷ Il MDF (Medium density fiberboard, pannello di fibra a media densità) è un derivato del legno: è il più famoso e diffuso della famiglia dei *pannelli di fibra* comprendenti tre categorie distinte in base al processo impiegato e alla densità: bassa (LDF), media (MDF) e alta (HDF).

2.2.6.1 Prodotti per l'edilizia

Esistono numerosi prodotti per l'edilizia realizzati con materiali biocompositi, nel seguito ne vengono descritti alcuni.

Woodn

È un materiale composito a base di farina di legno (60 - 90%) e polimeri termoplastici, appartiene perciò alla famiglia dei materiali classificati come WPC (Wood Plastic Composites). Prodotto da Woodn Industries srl a Padova. Il componente in legno e polimeri termoplastici viene lavorato mediante i processi di estrusione utilizzati per le materie plastiche ed è termoformabile. Possono essere realizzati profili a forma complessa con le caratteristiche del legno. Woodn presenta una buona flessibilità, resistenza agli urti, e migliorate prestazioni meccaniche. Non è attaccabile da tarli e da muffe, resiste agli agenti aggressivi chimici (alcali ed acidi), è resistente all'acqua e ha una maggiore stabilità dimensionale agli sbalzi di temperatura, è auto-estinguente di classe 1, e ha una superficie che non necessita di lucidature o verniciature. Woodn può essere comunque lavorato come il legno, quindi segato, piallato, incollato, inchiodato.

È utilizzato per pavimentazioni, controsoffitti, rivestimenti interni, profili per infissi, arredamenti esterni e interni

Proprietà

composizione	legno	60 - 90%
meccaniche	resistenza a trazione allungamento a rottura resistenza a flessione resistenza all'impatto densità in forma compatta assorbimento acqua	16 N/mm ² 375% 28N/mm ² 6.8 KJ/m ² 0,750 Kg/m ³ 3,5%
ciclo di vita	attaccabilità biologica	inattaccabile da tarli e muffe

Tab.2.2.6.1.1_ Tabella tratta da *Materiali innovativi per l'edilizia*, (a cura di) Giovanni Franconi e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a r.l.

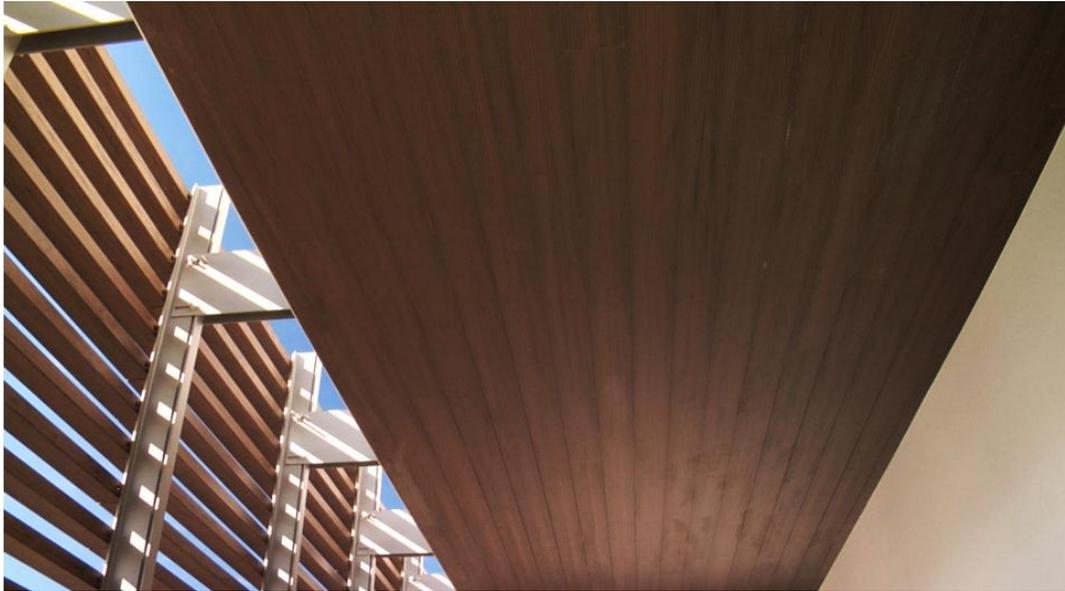


Fig.2.2.6.1.1_ Esempio controsoffitto realizzato con woodn. Fonte: <http://www.woodn.com/home.html>

Duralmond

È un composito naturale a base di resina e particelle derivanti dalla triturazione dei gusci delle mandorle. È utilizzato prevalentemente per produrre pavimenti per esterni o interni ma anche pannelli con texture tridimensionali (vedi par. 3.3.2). Prodotto in Spagna dal Poligono Industriale della Murcia. Tra la resina e la fibra riesce a crearsi un buon legame grazie alla lignina e alla cellulosa presenti nei gusci delle mandorle. L'impasto può essere colorato ed, inoltre, per ottenere densità di prodotto differenziate è possibile variare le quantità di gusci mandorla utilizzati.

Il materiale si presta all'utilizzo per esterni poiché è impermeabile e non subisce danni dall'esposizione al sole. Resiste inoltre agli urti e agli agenti chimici. Offre buone caratteristiche di isolamento poiché la resina crea all'interno dei micropori che ostacolano il passaggio del flusso termico e delle onde acustiche. Altra caratteristica positiva è la riciclabilità.



Fig.2.2.6.1.2_ Esempio di prodotto realizzato con Duralmond. Fonte: <http://www.decke-wand-boden.de/wandverkleidungen/duralmond/index.php>

Refine compound

E' composto da resine termoplastiche come PVC, ABS, HDPE, HPP, CPP per una percentuale che oscilla tra il 40 e il 70%, e fibre di cellulosa come canapa, juta, kenaf, sisal, per la rimanente percentuale. E' prodotto da AFT Plasturgie in Francia e può essere utilizzato per controsoffitti, rivestimenti interni, componenti tecnici per impianti, pannelli per automobili.

Proprietà

composizione	canapa PVC, ABS, HDPE, HPP	30% 70%
meccaniche	resistenza a trazione allungamento a rottura resistenza a flessione densità	29 - 63 N/mm ² 1,3 - 1,6 % 38 - 89 N/mm ² 990 - 1360 kg/m ³ 700
termiche	punto di ammorbidimento piegamento sotto sforzo	70 - 140°C 70 - 158 °C

Tab.2.2.6.1.2_ Proprietà Refine compound. Tabella tratta da *Materiali innovativi per l'edilizia*, (a cura di) Giovanni Franconi e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a r.l.

Lignocel

Lignocel è un biocomposito impiegato per pavimentazioni, profili per infissi, arredamenti interni. È prodotto da J. Rettenmaier und Soehne GmbH in Germania.

Presenta due diverse composizioni:

1. “wood like plastic” che ha un contenuto di fibre di legno variabile dal 10 al 40 % e un’alta percentuale di resine termoplastiche (PE, PV, PVC);
2. “wood extrusion” che è composto al 90% da fibre di legno e dal rimanente 10% di resine termoplastiche (PE, PV, PVC).

Il processo produttivo innovativo consente di ottenere profili a forma complessa, attraverso l’estrusione dei componenti, con le tecnologie di lavorazione delle materie plastiche e le caratteristiche del legno. Le proprietà del materiale sono l’alta stabilità, una maggior resistenza all’umidità e agli agenti atmosferici, la facilità di lavorazione, la possibilità di trattare il prodotto con finiture naturali color legno o di colorare il componente in tutto lo spessore.



Fig. 2.2.6.1.3_ Prodotti ottenuti da Lignocel. Immagine tratta da *Materiali innovativi per l’edilizia*, (a cura di) Giovanni Franconi e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a r.

Fasal

Fasal è un composto costituito principalmente da polvere di legno, amidi a base di mais e additivi di origine naturale (per alcuni utilizzi anche da polimeri termoplastici). E' utilizzato per produrre componenti tecnici per impianti, arredamenti interni. E' prodotto da Austel research & Development GmbH in Austria. Il materiale viene prodotto tramite estrusione.

E' dimensionalmente stabile e ha anche un buon comportamento ad alte temperature perché carbonizza prima di sciogliersi. Grazie all'alta densità del materiale ha ottime proprietà acustiche, può essere verniciato e trattato come il legno o colorato in tutto lo spessore.

Proprietà

composizione	legno	90%
meccaniche	resistenza a trazione allungamento a rottura resistenza a flessione resistenza all'impatto densità in forma compatta	28,2 N/mm ² 0,6% 51,4 N/mm ² 4.8 KJ/m ² 1400 Kg/m ³
ciclo di vita	attaccabilità biologica	nulla

Tab.2.2.6.1.3_ Proprietà Fasal. Tabella tratta da *Materiali innovativi per l'edilizia*, (a cura di) Giovanni Francini e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a r.l.

Arboform

E' un materiale composto da lignina (un polimero naturale, sottoprodotto delle industrie del legno) e da altre fibre naturali (lino, canapa o altre fibre) legati da additivi naturali. E' utilizzato per pavimentazioni, profili per infissi, arredamenti esterni. E' un composto granulare riciclabile. E' prodotto da Tecnar GmbH in Germania. Si possono produrre forme complesse grazie a stampi ad iniezione. Arboform ha caratteristiche simili ai polimeri termoplastici.

Proprietà

composizione	lignina canapa lino	
meccaniche	resistenza a trazione modulo elastico resistenza a flessione resistenza all'impatto densità in forma compatta durezza	10 - 22 N/mm ² 1000 - 5000 N/mm ² 10 - 50 N/mm ² 2 - 5 KJ/m ² 1300 - 1400 Kg/m ³ 50—80 shore D
ciclo di vita	attaccabilità biologica	nulla

Tab.2.2.6.1.4 Proprietà Arboform. Tabella tratta da *Materiali innovativi per l'edilizia*, (a cura di) Giovanni Franconi e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a r.l.

2.2.6.2 Prodotti di design

Il mondo del Design ha fiutato subito la portata di questi materiali innovativi proponendo vari prototipi. I biocompositi, in questo modo, si vanno ad inserire nel mercato come sostituti green del materiale più flessibile, plasmabile ed inquinante della storia, la plastica. Al momento non risultano abbastanza concorrenziali dal punto di vista economico ma con l'aumento dei progressi scientifici, al crescere di una domanda sempre più consapevole delle problematiche ambientali e di un'offerta indirizzata dalle politiche economiche verso la green economy, avranno una diffusione sempre più ampia.

Hemp Chair

Il prototipo della *sedia canapa* del designer Werner Aisslinger, presentato alla mostra "Poetry Happens" a Ventura Lambrate nel 2011, con il sostegno della società chimica tedesca BASF, produttrice del biocomposito, ha riscontrato subito molto successo tanto che oggi la sedia viene prodotta in svariate varianti di colore, come nello stile del produttore, da Moroso. Questa azienda infatti oltre a lavorare con famosissimi designer di tutto il mondo sta costruendo il suo successo anche sulla qualità ambientale dei suoi prodotti sviluppando di processi di produzione sempre meno inquinati e cercando di utilizzare materiali riciclati o da fonte rinnovabile. Lo stesso designer è molto sensibile alle problematiche ambientali e agli sviluppi tecnologici, infatti dice "la storia della progettazione è guidata dalle nuove tecnologie e dall'innovazione dei materiali. Per noi progettisti,

l'avvento di queste tecnologie è sempre stato il punto di partenza per nuovi oggetti e tipologie nel design "⁴⁸

Hemp chair è una sedia monoblocco impilabile, leggera ma resistente, realizzata con materiale biocomposito a sostituzione dei prototipi precedenti fabbricati in plastica rinforzata, esempio concreto della processo di sostituzione di cui si accennava in premessa. E' stata realizzata con un processo produttivo a basso costo di stampaggio a compressione mutuato dal settore automobilistico. E' composta per 70% da fibre di canapa e kenaf compresse insieme grazie ad Acrodur⁴⁹, una resina acrilica a base di acqua con prestazioni di incollaggio eccellenti che non rilascia sostanze organiche come fenolo e formaldeide durante il processo di reticolazione.



Fig.2.2.6.2.1_ Hemp Chair. Fonte: <http://www.aisslinger.de/>

⁴⁸ <http://www.aisslinger.de/>

⁴⁹ <http://www.basf.com/group/corporate/en/brand/ACRODUR>



Fig.2.2.6.2.2_Hemp Chair. Fonte: <http://www.aisslinger.de/>



Fig.2.2.6.2.3_Hemp Chair. Fonte: <http://www.aisslinger.de/>

Impossible wood⁵⁰

Impossible wood è “una sedia disegnata per Moroso dai designer Nipa Doshi e Jonathan Levien che si sono ispirati all’opera *cedar lodge* dello scultore africano Martin Puryear costruita con fasci di legni sovrapposti”. Il suo nome richiama quello del materiale di cui è costituita la seduta, il Liquid Wood, un biocomposito biodegradabile composto per 80% da scarti di legno e 20% da polipropilene, ed è stampata ad iniezione. La struttura d’appoggio invece è costituita da gambe in metallo. “Può avere tre varianti percettive diverse: simil legno anche nell’odore, simil mdf, simil ABS nel caso di presenza di legnina al 90%”.⁵¹



Fig.2.2.6.2.4_ Impossible wood. Fonte: <http://www.designerblog.it/post/11087/impossible-wood-la-sedia-dalle-curvature-impossibili-dello-studio-doshi-levien-per-moroso>

⁵⁰ <http://www.designerblog.it/post/11087/impossible-wood-la-sedia-dalle-curvature-impossibili-dello-studio-doshi-levien-per-moroso>

⁵¹ Tratto da Valentina Croci e Maddalena Padovani “Interni”.

Zartan⁵²

Zartan è un progetto di P. Starck con Eugeni Quitllet, presentato al salone del mobile del 2011 per Magis. Anch'essa interamente realizzata con quel che viene chiamato *legno liquido*, un compound di fibre naturali a cui si aggiunge una miscela di scarti del legno e polimero. Il biocomposito a base di polipropilene riciclato è utilizzato sia per la scocca della seduta, in cui sono impiegate fibre corte di juta o canapa, che per le gambe o telaio ma è prodotto con due processi differenti: la scocca mediante stampaggio a compressione mentre le gambe sono stampate ad iniezione a gas mediante la tecnologia air moulding.



Fig.2.2.6.2.5_ Zartan. Fonte: <http://www.archiproducts.com/it/prodotti/24976/sedia-in-legno-zartan-magis.html>

Fig.2.2.6.2.6_ Zartan. Fonte: http://www.magisdesign.com/m/products.php?id_typo=1&id_prod=244&expand=1

⁵² <http://www.designerblog.it/post/11051/zartan-la-sedia-interamente-naturale-di-philippe-starck-per-magis>

2.3 Risultati della sperimentazione del materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf realizzata dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria di Napoli

Il gruppo di ricerca, composto da E.Gallo, B.Schartel, D.Acierno, F.Cimino, P.Russo, del Dipartimento di Ingegneria di Napoli partendo dalla tesi di dottorato dell'arch. Phd. Francesca Cimino, relatore Prof. Domenico Acierno, tutor Prof. Cosimo Carfagna e proseguendo nella sperimentazione ha sviluppato un biocomposito composto per un 30 % da fibre di kenaf, non trattate, sminuzzate fino a raggiungere la lunghezza di 1 mm e per un 70 % da un co-polimero, ENMAT 6010P, formato per il 70% da un polimero tenace, biodegradabile ma di origine sintetica PBAT Poly(butylene adipate terephthalate) e per il 30% da un biopolimero cristallino e fragile di origine enzimatica il PHBV Poliidrossibutirratovalerato.

Materiali metodi e caratterizzazione sperimentale⁵³

Materiali

ENMAT 6010P PHBV fornito da TIANAN

Fibre naturali di Kenaf - (K.E.F.I. – kenaf ecofibers Italia)

Procedura sperimentale di produzione del composito

Il campione, è stato realizzato caricando la matrice polimerica di sintesi ENMAT 6010P, (di cui 30% PHBV e 70% PBAT), con fibre naturali di Kenaf.

Il campione è stato realizzato seguendo la seguente procedura, dopo aver tenuto i materiali in stufa per 48 ore ad una temperatura di 80°C sotto vuoto, il polimero è stato miscelato con fibre naturali di kenaf (tagliate alla lunghezza di 0,1 cm), nella quantità pari al 30% rispetto al peso totale.

Per effettuare la miscelazione è stato utilizzato un estrusore (Polylab Haake ptw 24/40 bivate), con il seguente profilo di temperatura: 150C°-150C°-155C°-160C°-175C°-175C°160C°-160C°-160C°.

⁵³ Testo tratto da: *Tailoring the flame retardant and mechanical performances of natural fiber-reinforced biopolymer by multi-component laminate*, E.Gallo, B.Schartel, D.Acierno, F.Cimino, P.Russo, 112-119, *Composites*, 2013

Il composto ottenuto è stato pellettizzato, messo nello stampo e successivamente pressato ad una temperatura di 180°C, in una pressa idraulica tipo LP20-B (Lab Tech Engineering company LTD), per circa 10 minuti, di cui:

- ✦ *1 min preriscaldamento 0 bar;*
- ✦ *3 min 180°C a 20 bar;*
- ✦ *2 min a 180 C° a 70 bar;*
- ✦ *5 min raffreddamento a 70 bar*

in modo da ottenere dei provini quadrati delle dimensioni 10x10x0,35 cm.

PROCESSO SPERIMENTALE DI PRODUZIONE DEL BIOCOMPOSITO

MATERIALI COMPONENTI

MATRICE: BIOCOPOLIMERO BIODEGRADABILE		RINFORZO: FIBRE NATURALI	
	Enmat 6010P		
	PBAT 70%	PHBV 30% (Eco- flex)	
Tenace Origine sinteti- ca	Cristallino, Fra- gile Origine enzima- tica		



70% biopolimero + 30% fibre naturali

FASI DEL PROCESSO

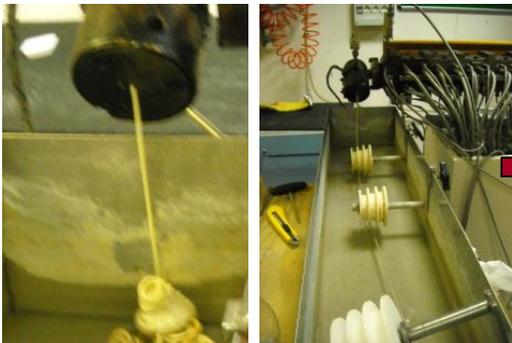
I FASE: ESSICAZIONE DEI MATERIALI COMPONENTI A 80° C SOTTOVUOTO PER 12 H



II FASE: UNIONE ED IMMISSIONE NELL'ESTRUSORE



III FASE: ESTRUSIONE E RAFFREDDAMENTO



IV FASE: PELLETTIZZAZIONE

Riduzione del prodotto in forma sferoidale o cilindrica



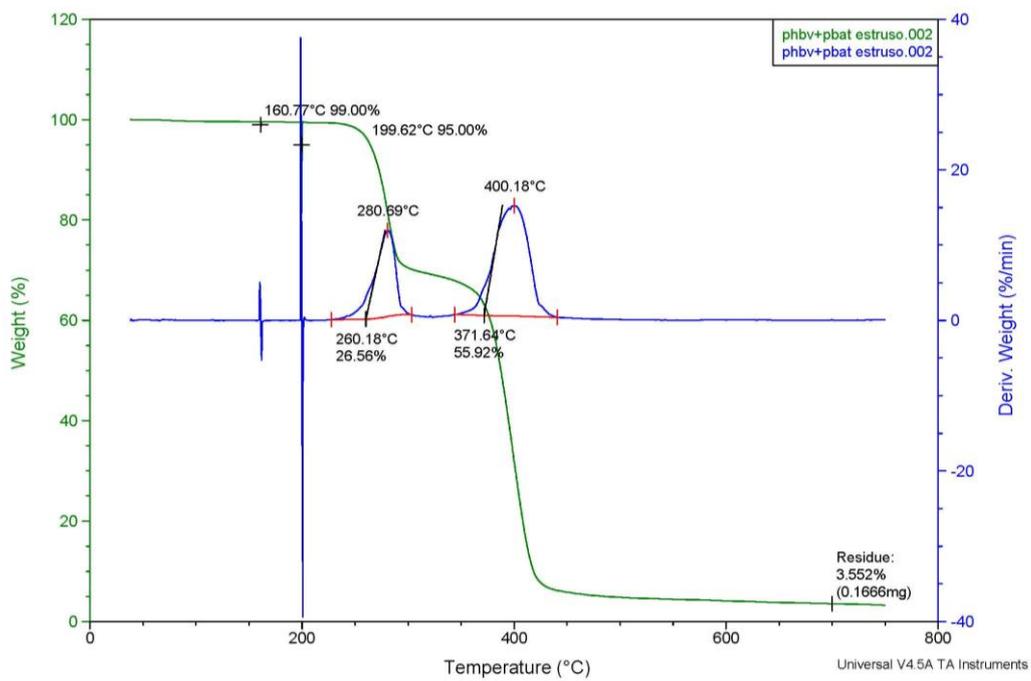
Tab 2.3.1_Tabella elaborata dall'autore che riassume il processo sperimentale di produzione del provino di biocomposito ENMAT 6010P/kenaf realizzato nei laboratori dell'ex DIMP del Dipartimento di Ingegneria della Federico II.

ANALISI TERMICHE

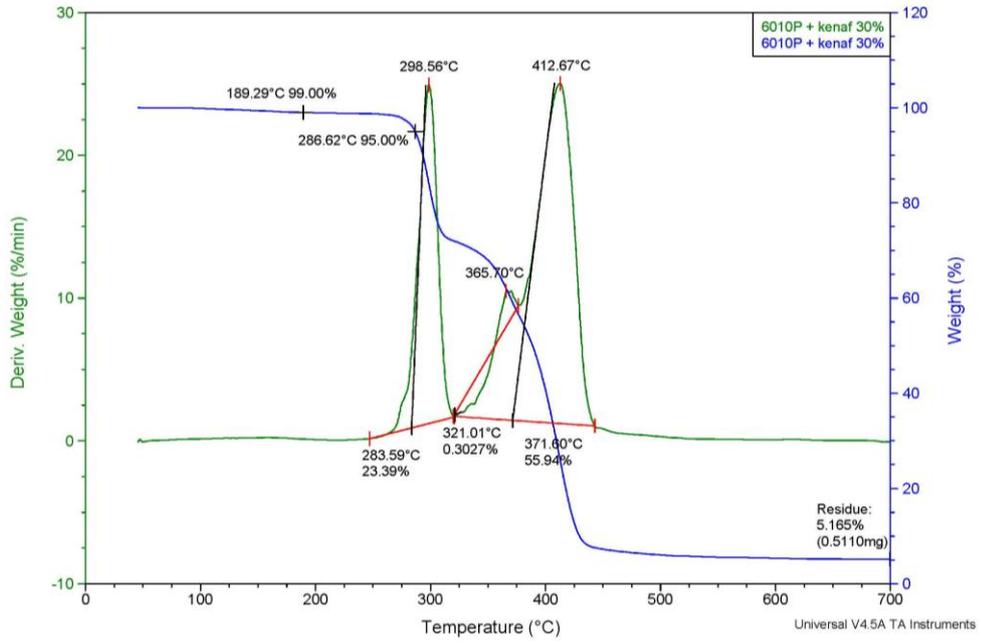
Analisi termo gravimetrica-TGA

La stabilità termica dei campioni è stata monitorata attraverso prove condotte con un Thermogravimetric Analyzer (Q5000) che consente di registrare la perdita di peso in funzione della temperatura. I campioni sono stati riscaldati a partire da una temperatura di 40°C fino a 750°C, con velocità di 20°C/min.

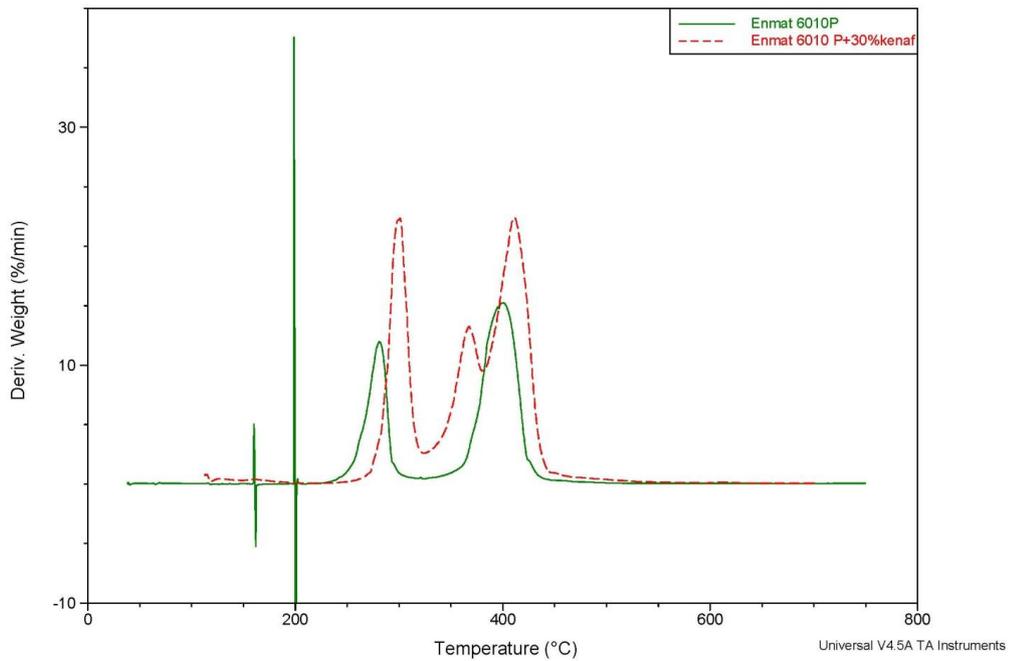
Campione: Enmat 6010P tal quale



Campione: Enmat 6010P +30% kenaf



Confronto Enmat 6010P tal quale/ Enmat 6010P+30% fibre



Calorimetria a scansione differenziale -DSC

Nelle seguenti tabelle, sono riportati rispettivamente i dati relativi al campione tal quale (tabella 2.2.5.1) e al campione caricato con fibre di kenaf (tabella 2.2.5.2).

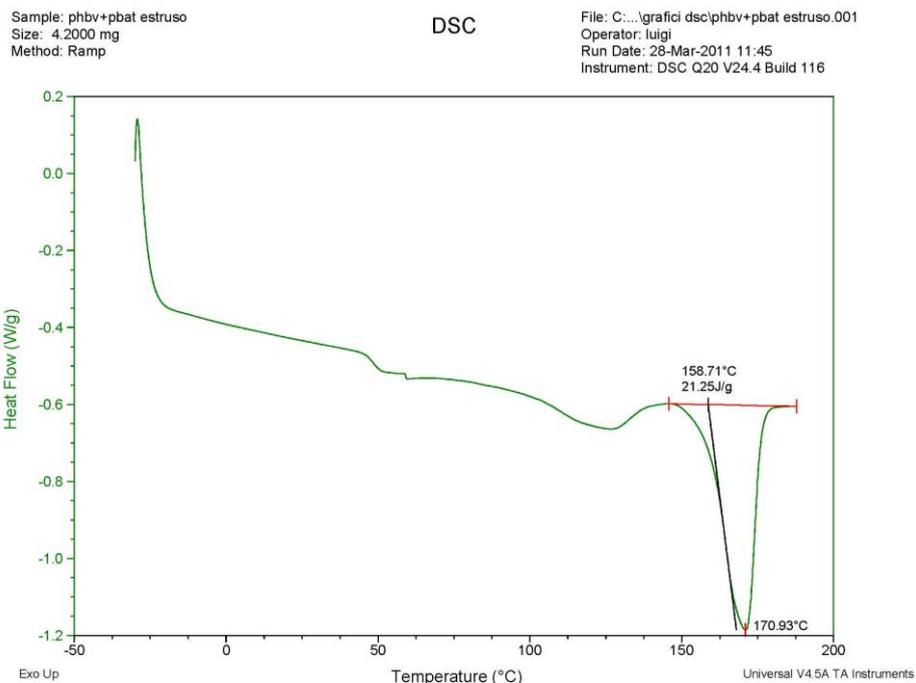
I dati riportati, ottenuti dall'analisi termica sono in termini di temperatura di fusione (T_m), ed entalpia di fusione (ΔH_m).

Sample	Primo ciclo riscaldamento		Secondo ciclo riscaldamento		Ciclo raffreddamento		Secondo ciclo riscaldamento	
	T_{m1} (°C)	ΔH_{m1} (J/g)	T_{m2} (°C)	ΔH_{m2} (J/g)	T_{cc} (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_{ch} (°C)	ΔH_{ch} (J/g)
ENMAT 6010P neat	170,93	21,25	171,49	18,90	86,78	7,25	45,42	8,37
ENMAT 6010P/K 70/30	173,84	17,67	167,91	15,78	82,18	19,19	43,13	0,28
			174,53					

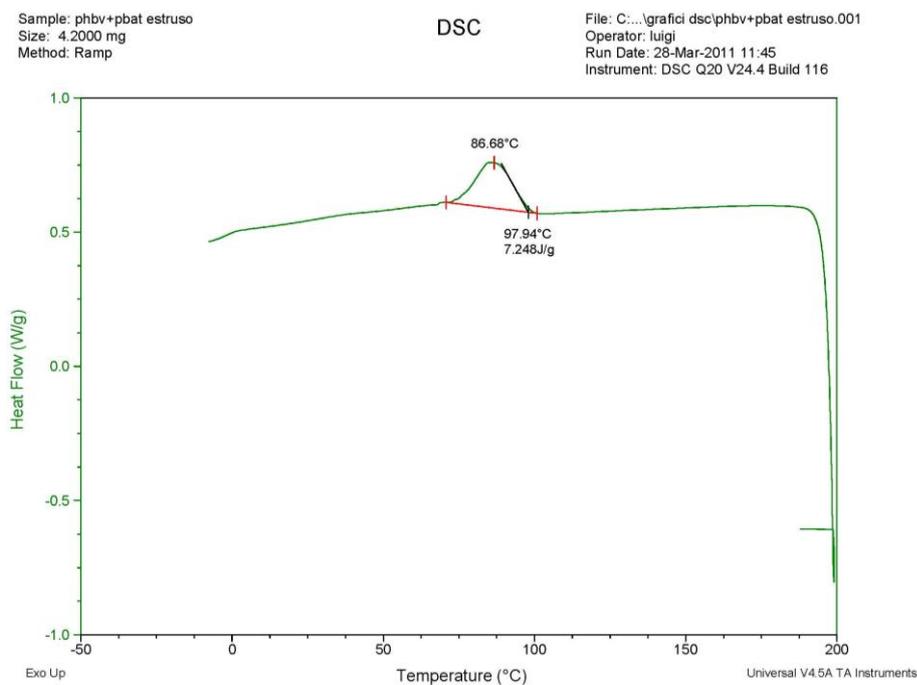
Tab.2.3.2

Campione: Enmat 6010P tal quale

I° Rampa 10.00°C/min da -30.00°C a 200.00°C



II° Rampa 10.00°C/min da 200.00°C a -30.00°C

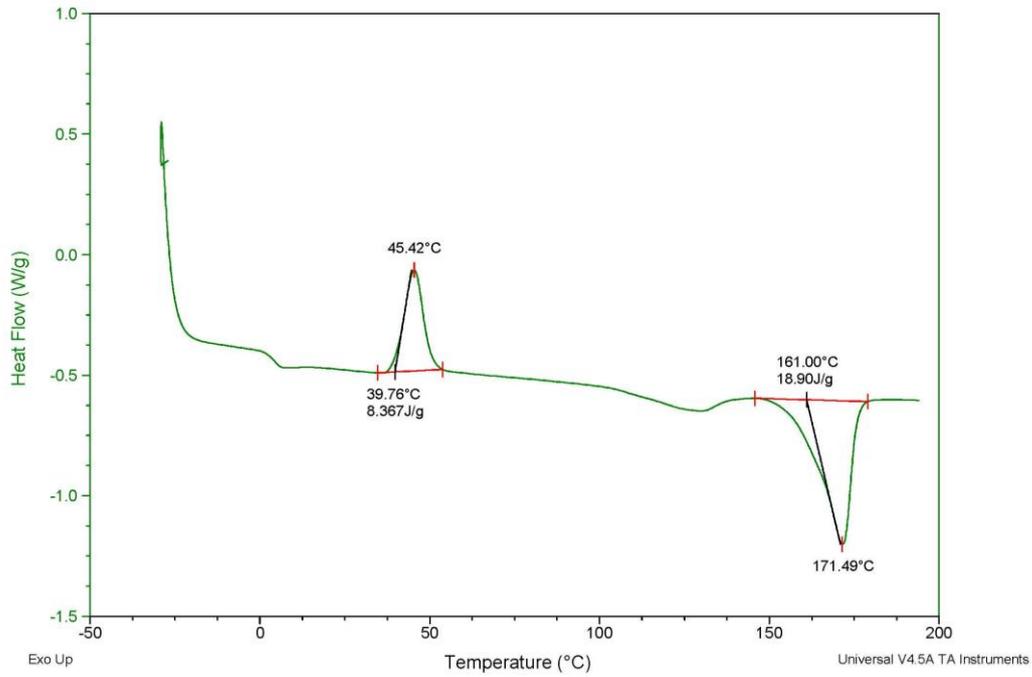


III° Rampa 10.00°C/min da -30.00°C a 200.00°C

Sample: phbv+pbat estruso
Size: 4.2000 mg
Method: Ramp

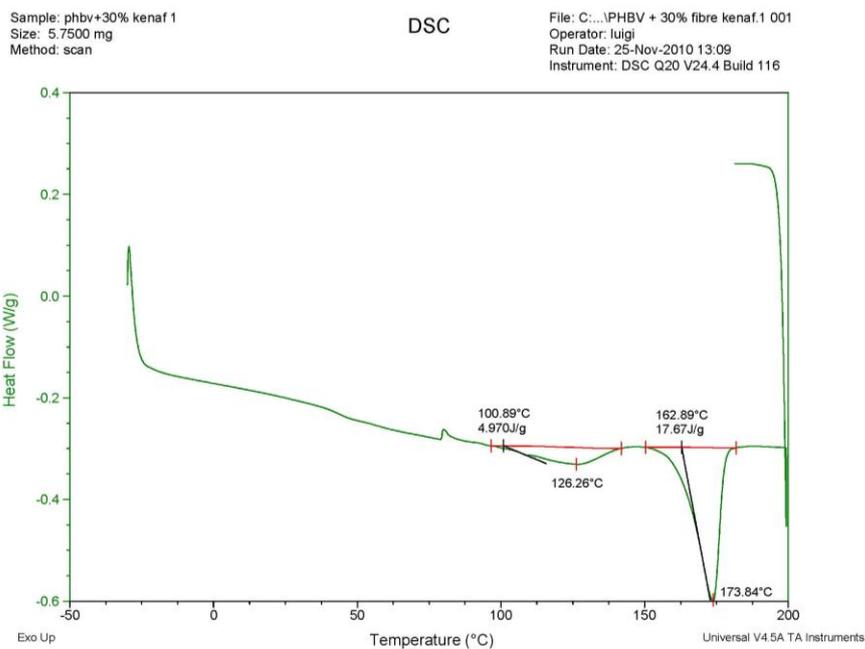
DSC

File: C:\...\grafici dsc\phbv+pbat estruso.001
Operator: luigi
Run Date: 28-Mar-2011 11:45
Instrument: DSC Q20 V24.4 Build 116

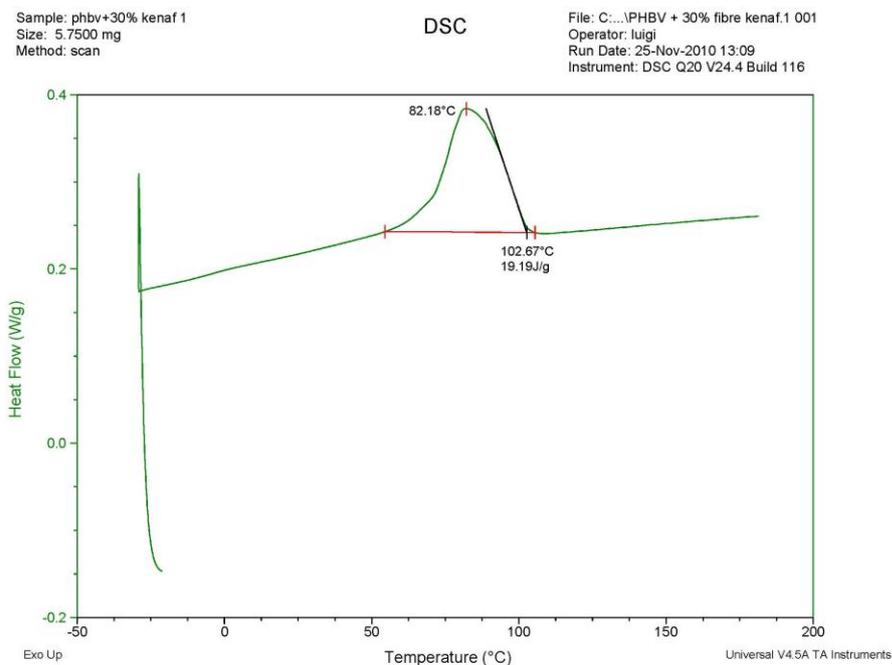


Campione: Enmat 6010P +30% kenaf

I° Rampa 10.00°C/min da -30.00°C a 200.00°C



II° Rampa 10.00°C/min da 200.00°C a -30.00°C

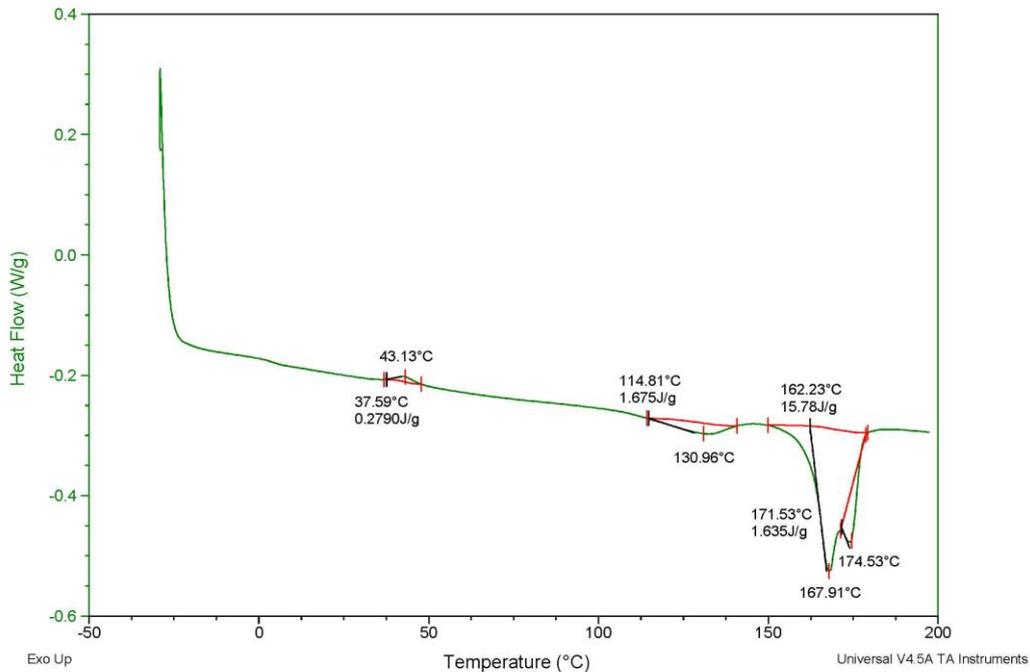


III° Rampa 10.00°C/min da -30.00°C a 200.00°C

Sample: phbv+30% kenaf 1
Size: 5.7500 mg
Method: scan

DSC

File: C:\...PHBV + 30% fibre kenaf.1 001
Operator: luigi
Run Date: 25-Nov-2010 13:09
Instrument: DSC Q20 V24.4 Build 116



PROVE MACCANICHE

Prove di resistenza a flessione statica

La resistenza a flessione è stata misurata utilizzando un dinamometro Instron (modello 5564) con una configurazione a tre punti, velocità della traversa di 1 mm/min e cella di carico da 1kN.

I provini testati di forma rettangolare hanno una altezza di 3,5 mm, una larghezza di 6 mm e una lunghezza di 60 mm; il test span scelto è 48 mm.

Le prove effettuate fanno riferimento alla norma ASTM D 790-03, sono state eseguite su un numero significativo di provini e i valori medi risultanti sono stati riportati nella tabella 2.2.5.2.

Campioni	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
Matrice non caricata Enmat 6010P	10,3 ± 0,4	233 ± 3,5
Enmat 6010P + 30% kenaf	19,83 ± 1,14	804,6 ± 26,77

Tab.2.3.3

Prove di resistenza ad impatto

La resistenza ad impatto è stata misurata attraverso un pendolo di frattura massa 25 joule, Ceast.

I provini testati hanno una altezza di 3,5 mm, una larghezza di 10 mm e una lunghezza di 60 mm; l'intaglio è di 3,5 mm.

Le prove meccaniche sono state eseguite su un numero significativo di provini e i valori medi risultanti sono stati riportati nella tabella 2.2.5.3.

Campioni	Resilienza (KJ/m2)
Enmat 6010P neat	4,34±0,78
Enmat 6010P + 30% kenaf	6,77 ± 0,80

Tab.2.3.4

2.3.1 Proposta per l'applicazione del materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf

Dalle analisi effettuate emerge che il materiale potrebbe essere utilizzato in ambito architettonico poiché:

- Non subisce diminuzione di volume alle temperature di esercizio (test TGA), quindi risponde al requisito della stabilità dimensionale
- Offre una buona resistenza meccanica
- Offre una buona resistenza agli impatti
- Le fasi che lo compongono sono compatibili tra loro: l'aderenza fibra matrice è garantita senza trattamento delle fibre⁵⁴
- E' biodegradabile quindi a fine vita non rappresenta un carico ambientale
- E' prodotto con i processi della plastica quindi offre grandi potenzialità estetiche
- E' un materiale leggero e duttile

Dallo studio dello stato dell'arte delle partizioni interne verticali fisse e dal confronto dei sistemi tra loro emerge che quello a telaio è preferibile poiché offre i seguenti vantaggi:

- Assemblaggio a secco
- Attrezzabilità
- Ispezionabilità
- Smontabilità e sostituibilità del pannello e dell'isolante al suo interno

Quindi l'ipotesi progettuale riguarderà la progettazione di un sistema intelaiato in cui il materiale biocomposito verrà utilizzato come pannello di completamento e sarà reso solidale alla struttura portante mediante degli appositi incastri.

⁵⁴ *Preparazione di compositi rinforzati con fibre naturali destinati ad applicazioni nell'edilizia ecosostenibile*, Tesi di dottorato in ingegneria dei materiali e delle strutture di Francesca Cimino, relatore: Prof. Domenico Acierno, tutor: Prof. Cosimo Carfagna, 2009.

3 Analisi delle partizioni interne verticali

3.1 Sistemi attualmente utilizzati nella pratica edilizia

“Le pareti interne, con gli infissi interni e gli elementi di protezione, costituiscono l’unità tecnologica *partizione interna verticale* che divide, conforma e controlla la comunicazione tra gli spazi interni dell’organismo edilizio”⁵⁵. Hanno come funzione principale quella di delimitare gli spazi interni in relazione alle attività che vi si svolgono. Infatti, possono essere più o meno flessibili: si pensi a quelle in muratura e in vetro. Talvolta possono avere funzioni strutturali, quasi sempre costituiscono il supporto per le reti impiantistiche.

Comunque esse siano, però, in relazione al tipo di spazio, alle condizioni ambientali che lo caratterizzano, alla contiguità con altri spazi, devono controllare diversi fenomeni: fenomeni acustici (isolamento e riverberazione), ottici (visibilità e riflessione luminosa), termici (isolamento e inerzia termica), igrotermici (condensazione), idrodinamici (tenuta all'acqua, capillarità), gassosi (odori), elettromagnetici (raggi X e altre radiazioni), chimici (emanazione sostanze chimiche) e pirici (tenuta e isolamento al fuoco). E' importante, in relazione al tipo di locale e alle dotazioni di impianto e attrezzatura che questo deve avere, che le pareti interne permettano l'integrazione di reti impiantistiche e l'attrezzabilità con elementi di arredo.

Oggi le partizioni interne fisse non portanti sono riconducibili a due tipologie:

- pareti in muratura: idonee ad ambienti nei quali la flessibilità d'uso non implica spostamenti dei divisori;

⁵⁵ A.A.V.V., *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, Hoepli, Milano, 1995.

- pareti intelaiate: sono smontabili e ricollocabili altrove quindi idonee in ambienti con significativi cambiamenti nel tempo.

TIPOLOGIE E MATERIALI DELLE PARTIZIONI INTERNE VERTICALI	
Sistemi in muratura	Sistemi intelaiati
Materiali struttura	
Laterizi pieni	Telaio in legno
Laterizi forati	Telaio in alluminio
Blocchi in gesso	
Blocchi in cemento	
Blocchi in gasbeton	
Blocchi in calcestruzzo alveolare	
Adobe in terra cruda	
Setti in legno	
Materiali isolanti	
Organici	Organici
Inorganici	Inorganici
Materiali di rivestimento	
Intonaci	Pannelli in cartongesso
	Pannelli in fibrogesso
	Pannelli in fibro cemento
	Pannelli in legno e derivati
	Perlinatura
	Pannelli in terra cruda
	Pannelli con texture 3D
Materiali di finitura	
Vernici	Stucco
Piastrelle	Vernici

Tab.3.1.1_ Tabella riassuntiva, elaborata dall'autore, sui materiali costituenti le due tipologie di partizione interna verticale attualmente utilizzate nella pratica edilizia.

In relazione alla integrazione impiantistica e alla attrezzabilità le pareti in muratura permettono l'inserimento di impianti "sotto traccia" (e molto dipende dalla forometria dei laterizi impiegati)

Per quanto concerne la sospensione di arredi più o meno pesanti la parete in muratura non presenta problemi.

- Costruibilità: è importante la modalità di messa in opera in quanto questa può avere ricadute sulla qualità delle pareti interne. Le pareti in muratura sono realizzate da maestranze edili e generalmente seguono queste sequenze operative: muratura, tracce, predisposizione per gli impianti, intonacatura e, quando la parete è completamente asciutta, la finitura.

- Tempi: i tempi vanno considerati tenendo conto degli intervalli necessari fra le diverse lavorazioni e vede, per una coppia di addetti, realizzare 32 mq al giorno per pareti in muratura.

- Manutenibilità: tenendo conto che le soluzioni in muratura hanno durabilità gerarchizzata per: 1) pitture, 2) intonaci, 3) supporto murario; si evidenzia che la manutenzione dipende dal diverso grado di usura dei componenti della parete.

- Costi: il criterio di calcolo dei costi è molto complesso ma sinteticamente si può affermare che il costo globale (ovvero quello che comprende anche la manutenzione) è approssimativamente uguale a quello dei sistemi intelaiati.

3.2 Sistemi intelaiati. Assemblaggio, struttura e materiali

Dall'evoluzione del sistema strutturale dell'edificio da muratura portante a telaio la parete interna è stata spogliata dalla funzione portante ed assolve principalmente al ruolo di divisione tra gli ambienti. La nuova architettura a pianta libera si presta a numerosi schemi distributivi che possono essere modificati nel tempo con l'evolvere delle esigenze dell'utenza. I sistemi a telaio rispondono al meglio al requisito di flessibilità richiesto poiché essendo assemblati a secco permettono la ricollocabilità nel tempo con il riutilizzo di alcuni componenti. Inoltre consentono anche operazioni di manutenzione quali l'ispezionabilità e la sostituibilità del pannello e dell'isolante al suo interno

In relazione alla integrazione impiantistica e alla attrezzabilità le pareti a telaio prevedono l'alloggiamento delle reti impiantistiche tra le lastre. Per quanto concerne la sospensione di arredi più o meno pesanti la parete intelaiata necessita dell'ancoraggio in corrispondenza di elementi del telaio.

- Costruibilità: le pareti intelaiate sono realizzate da montatori specializzati con la seguente sequenza operativa: montaggio del telaio e di una lastra, predisposizione impianti, isolamento, seconde lastre, realizzazione giunti e finitura a giunti asciutti.

- Tempi: i tempi vanno considerati tenendo conto degli intervalli necessari fra le diverse lavorazioni e vede, per una coppia di addetti, realizzare 16 mq al giorno.

- Manutenibilità: tenendo conto che le soluzioni intelaiate hanno durabilità gerarchizzata per: 1) finitura, 2) lastre; si evidenzia che la manutenzione dipende dal diverso grado di usura dei componenti della parete.

- Costi: il criterio di calcolo dei costi è molto complesso ma sinteticamente si può affermare che il costo globale (ovvero quello che comprende anche la manutenzione) è approssimativamente uguale a quello delle pareti in muratura.

La struttura può essere costituita da listelli di legno o legno lamellare e da profili in lamiera di acciaio sottile, forgiata a freddo e protetta contro la corrosione. I semilavorati di rivestimento possono essere di diversi materiali (vedi Tab.3.1.1 e Par.3.3) ma il sistema più diffuso nella pratica edilizia per la economicità e la velocità di posa in opera è quello in cartongesso con orditura di supporto in acciaio zincato.

Un esempio di sistema in cartongesso è quello della KNAUF. Esso è costituito da una struttura portante, un pannello isolante nell'intercapedine, un rivestimento con lastre di cartongesso.



Fig.3.2.1_ Esempi di orditura metallica.

La struttura portante della parete è costituita dall'orditura metallica in profili in lamiera di acciaio sottile (s 0.6mm) profilata a freddo e protetta dalla corrosione mediante galvanizzazione a caldo, con rivestimento di Zinco (UNI-EN 10142).

I profili sono di due tipi:

- guide a "U", da posizionare a pavimento e soffitto
- montanti a "C", da inserire nelle guide.

Le seguenti immagini che illustrano le fasi di montaggio di una parete in cartongesso sono tratte dal Catalogo della Knauf.

Fasi di messa in opera:

- 1) Determinato lo spessore della parete, tracciamento della posizione della guida a "U" a pavimento e poi, con filo a piombo o laser, posizionamento sul soffitto della guida superiore (Fig. 3.2.2).



Fig.3.2.2_ Prime fasi di messa in opera del sistema in cartongesso della Knauf, posizionamento delle guide inferiore e superiore.

- 2) Posizionamento di aperture, porte e sanitari in modo da distribuire correttamente i montanti nelle guide. Applicazione del nastro mono/biadesivo di guarnizione isolante in polietilene espanso sull'anima della guida, per contenere le trasmissioni acustiche laterali. Fissaggio della guida inferiore con

viti ad interasse 50 cm (Fig. 3.2.3). Su soletta in calcestruzzo grezza o finita, si devono utilizzare tasselli ad espansione o pistola sparachiodi.



Fig.3.2.3_ Applicazione del nastro di guarnizione sull'anima della guida e fissaggio della guida inferiore con viti ad interasse 50 cm.

- 3) Per proteggere le lastre dall'acqua durante la posa dei pavimenti, predisposizione di un foglio in polietilene sotto la guida di larghezza sufficiente da essere risvoltato lungo i fianchi della parete per fuoriuscire dalla quota del pavimento finito, che sarà fissato temporaneamente con nastro adesivo alle lastre. Messa in opera della guida superiore al soffitto, con fissaggi idonei al supporto, posti ad interasse massimo di 50 cm (Fig. 3.2.4).

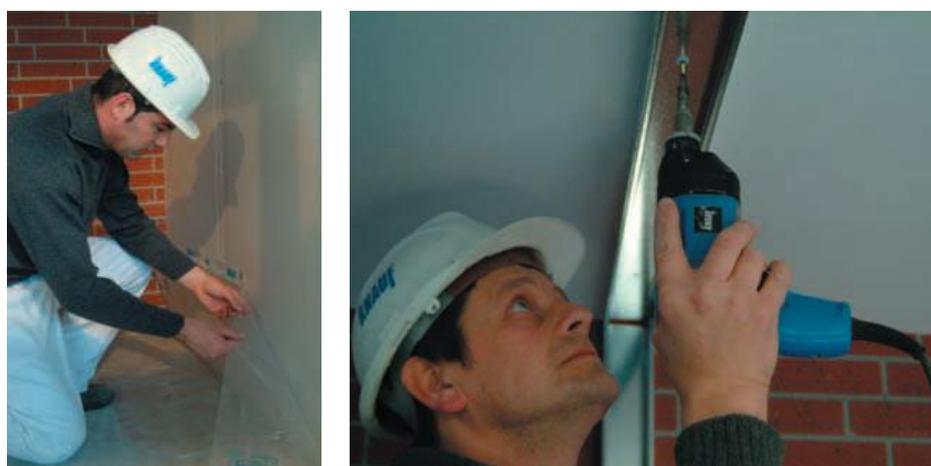


Fig.3.2.4_ predisposizione di un foglio in polietilene sotto la guida e fissaggio della guida superiore.

- 4) Incastro dei montanti tra le guide a distanza 60 cm l'uno dall'altro e controllo della verticalità con livella a bolla. Il primo e l'ultimo devono essere fissati alle pareti laterali. Foratura dei montanti per passaggio tubature o fili elettrici.

- 5) Fissaggio delle lastre ai montanti mediante viti filettate.
- 6) Disposizione dell'isolante all'interno dell'intercapedine.



Fig.3.2.5_ Disposizione dell'isolante all'interno dell'intercapedine.

- 7) Fissaggio delle lastre ai montanti dalla parte opposta della parete divisoria.
- 8) Applicazione del nastro autoadesivo lungo le giunture tra i pannelli
- 9) Applicazione di una piccola quantità di stucco sulla striscia di nastro autoadesivo e sulle teste delle viti
- 10) Rasatura delle imperfezioni
- 11) Tinteggiatura

Il rivestimento in lastre può essere formato da uno, due o tre strati per lato. Il tipo ed il numero delle lastre di rivestimento sono scelti in funzione delle prestazioni della parete in relazione alla statica, alla protezione al fuoco, l'acustica e l'isolamento termico.

3.3 Studio degli elementi di completamento dei sistemi intelaiati

3.3.1 Pannelli di completamento

Pannelli di completamento in cartongesso

Una lastra di cartongesso è costituita da un nucleo di gesso ottenuto da rocce naturali, amido, acqua, schiuma e additivi, rivestito su entrambi i lati da cartone ottenuto da carta riciclata. E' prodotto in pannelli di vario formato. E' il materiale di finitura più economico sul mercato e per questo ha trovato larghissimo impiego in tutto il mondo. Ha le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco dell'intonaco ma ha una posa più rapida, con minor tempo di attesa per l'asciugatura e che richiede meno specializzazione. Il cartongesso è facilmente lavorabile (si taglia con un cutter). Ha una capacità di isolamento termico leggermente migliore del fibrogesso.

Esistono numerosi tipi di cartongesso: resistente all'umidità, ad elevata resistenza al fuoco, preaccoppiato con isolante termico, preaccoppiato con barriera a vapore, preaccoppiato con isolante acustico, predecorato.

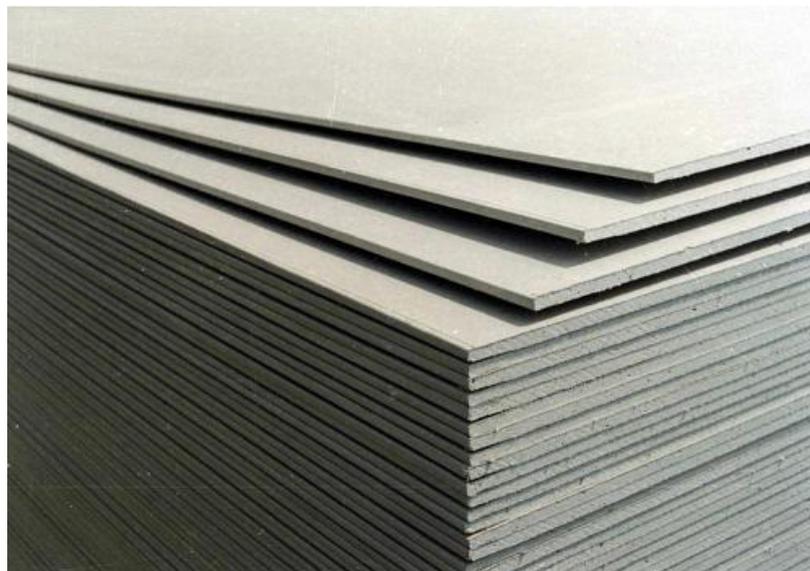


Fig.3.3.1.1_Esempio lastra in cartongesso. Fonte: <http://www.controsoffittidesign.it>



Fig.3.3.1.2_ Esempi di pannelli preaccoppiati con materiale isolante <http://isolsystem.it>

Pannelli di completamento in fibrogesso

Una lastra di fibrogesso è formata da una miscela omogenea di gesso naturale cotto e fibre di cellulosa derivanti da processo di riciclaggio della carta, con l'aggiunta di acqua e amido di patate, e pressata a pressioni molto elevate. I pannelli che risultano molto robusti successivamente vengono essiccati e impregnati di sostanze idrorepellenti. Si tagliano con un seghetto alternativo. Nonostante abbia una capacità di isolamento termico leggermente inferiore rispetto al cartongesso presenta, però, una densità maggiore che si traduce in migliori caratteristiche di solidità, capacità portante per i carichi puntuali (tasselli per scaffali), isolamento acustico (che però dipende, per tutti i sistemi costruttivi, dalla qualità complessiva della realizzazione), inerzia termica e reazione al fuoco.



Fig.3.3.1.3_ Esempio lastra fibrogesso. Fonte: www.fermacell.it

Pannelli di completamento in legno o suoi derivati

MDF (Medium Density Fibreboard)

Tra i pannelli di fibra di legno a densità media troviamo il famoso MDF, che ha il vantaggio dell'omogeneità e cosa importante per il falegname che lo lavora, permette qualsiasi lavorazione meccanica: taglio, pantografatura e bordatura.

Altri fattori positivi sono: il prezzo, sicuramente è meno caro del legno; la buona resistenza, la flessibilità e la facilità con la quale si pittura.

Gli svantaggi dell'MDF però sono principalmente tre:

- A parità di densità è più pesante del legno a causa delle resine usate.
- Se non è ben impermeabilizzato, all'esterno si gonfia e si espande irregolarmente.
- Contiene molta formaldeide quindi non è biocompatibile.

Anche l'MDF rivestito di laminato plastico (melamina mdf) è causa di notevole inquinamento indoor, esso è rivestito con una resina melamminica che può avere l'apparenza della formica o del legno.



Fig.3.3.1.4_ Esempio pannello MDF non rivestito. Fonte: <http://www.faidanoi.it/bioedilizia/materiali-derivati-del-legno.htm>



Fig.3.3.1.5_ Esempio pannelli in MDF laminati. Fonte: <http://www.faidanoi.it/bioedilizia/materiali-i-derivati-del-legno.htm>

Pannelli legati con cemento

I pannelli legati con cemento, sicuramente meno inquinanti, e smaltibili in discariche comuni sono materiali a base di trucioli di legno o altre fibre vegetali (ad es. canapa, lino, lana di legno) e leganti minerali quali appunto il cemento Portland.

Sono fabbricati in un unico strato con granulometria omogenea oppure in più strati, in un sovrapporsi di altri materiali, come i pannelli di espanso rigido o sughero con i quali si ottiene un effetto finale più fono isolante e termoisolante.

Sono usati per muri divisori e per rivestimenti portanti e di irrigidimento. Sono molto resistenti alle intemperie, gelo, insetti e funghi. La loro resistenza al fuoco è ottima, e con il passare del tempo praticamente si pietrificano, dando al materiale in questione una durata praticamente “illimitata”. Il loro aspetto esterno è normalmente grigio.



Fig.3.3.1.6_ Esempio pannello in trucioli di legno legati con il cemento. Fonte: <http://www.faidanoi.it/bioedilizia/materiali-i-derivati-del-legno.htm>

Perlinatura

Il rivestimento in perlinato è simile al parquet ed è composto da listelli di legno che vengono incastrati tra loro ed inchiodati sui supporti a parete come si evince dal disegno della **fig.3.3.1.7**. E' realizzabile con varie essenze, tra le quali la più utilizzata risulta essere l'abete. Oggi in commercio esistono alcuni pannelli in legno che imitano l'estetica del perlinato tramite scanalature ma ne semplificano il montaggio e mirano ad ovviarne gli inconvenienti dovuti alla discontinuità.



Fig.3.3.1.7_ Esempio di perlinatura. Fonte: <http://www.faidatehobby.it/come-rivestire-una-parete-con-il-perlinato.html>

OSB (Oriented Strand Board)

Il Pannello a scaglie orientate OSB (Oriented Strand Board), è un pannello a base di legno costituito da scaglie incollate insieme con una resina sintetica che sono successivamente pressate in diversi strati, ciò gli conferisce ottime caratteristiche meccaniche. Nella parte più esterna queste scaglie vengono orientate parallelamente ad uno dei due lati per renderlo più resistente in quella direzione.

Quando di buona fattura, è abbastanza flessibile, ma quando viene usato come materiale di rivestimento va rifinito con fissativi particolari (varie mani di flatting) perché alla lunga non lasci piccole schegge tra le mani di chi lo usa.



Fig.3.3.1.8_ Esempio di pannello OSB. Fonte: <http://www.faidanoi.it/bioedilizia/materiali-i-derivati-del-legno.htm>

Pannelli di completamento in terra cruda

Uno dei sistemi di costruzione a secco in terra cruda presenti sul mercato è TON-WALL di ton-gruppe. Il rivestimento da un lato e dall'altro del telaio è realizzato con un pannello autoportante di tamponamento in terra cruda, fibre di paglia e scarti di lavorazione dell'orzo, di spessore 2,2 cm (KARTON-SANA). Il pannello prevede anche delle varianti (KARTON-SANA ENERGIA, KARTON-SANA DUAL, KARTON-SANA CLIMA) studiate per accogliere nel primo caso di una retina in fibra di carbonio annessa nella terra che lo riscalda elettricamente a basso voltaggio; nel secondo un sistema di serpentine a doppia canalina, per evitare dilatazioni termiche che farebbero crepare la terra, per la climatizzazione e riscaldamento ad acqua e nel terzo microsfere di paraffina, materiale PCM (Phase Change Material).

KARTON-SANA® ...la parete Sana e Attiva!

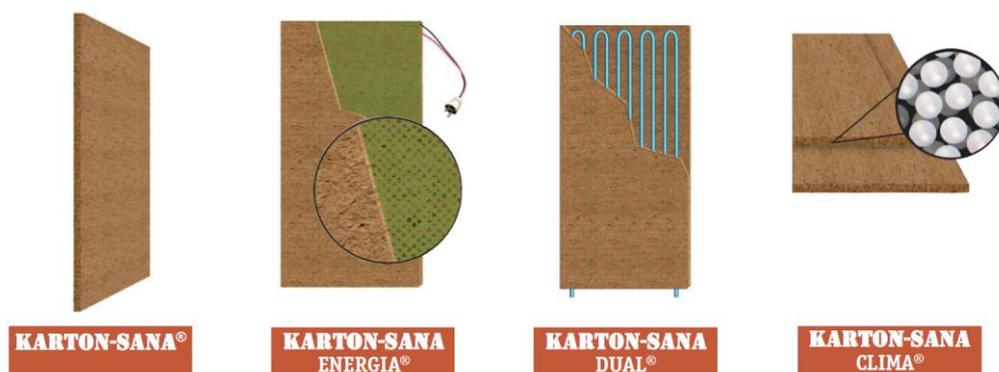
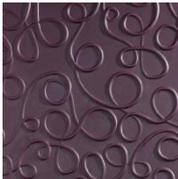


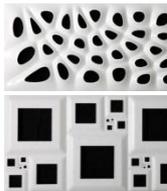
Fig.3.3.1.9_Esempio pannello in terra cruda KARTON-SANA. Fonte: catalogo tecnico Karton-Sana, www.ton-gruppe.it

Il pannello KARTON-SANA ha le seguenti caratteristiche e prestazioni:

- Dimensioni 1250x650x22 mm
- Peso 29 Kg\m²
- Conducibilità termica 0.47 W\mK
- E' adatto alla realizzazione di pareti divisorie interne e contropareti
- Ottime caratteristiche di abbattimento acustico
- Massa attiva
- Schermo contro campi elettromagnetici
- Termo-igro regolatore
- Assorbente di odori
- Biologico
- Riciclabile al 100%
- Facilità di posa mediante fissaggio con viti a telaio portante in legno.

3.3.2 Pannelli di completamento con texture tridimensionale

AZIENDA	EFFETRE DESIGN	3D SURFACE s.r.l.	GRUPPO SOGIMI
PRODOTTO	CREO	3D SURFACE	DURALMOND
ESEMPI DI TEXTURE			
MATERIALE	MDF LACCATO	TRG (MALTA CERAMIZZATA FIBRORINFORZATA)	BIOCOMPOSITO (GUSCI DI MANDORLE TRITURATE E RESINE SINTETICHE, NATURALI E ADDITIVI)
POSA IN OPERA	A SECCO	MEDIANTE INCOLLAGGIO O CON VITI	1. MEDIANTE INCOLLAGGIO E CON CHIODI 2. A SECCO
SUPPORTO	PROFILATI METALLICI A MURO	PARETE	PARETE, STRUTTURE IN CARTONGESSO, MONTANTI IN LEGNO

AZIENDA	MATERIALINNOVATIVI	3 FORMS MATERIAL SOLUTION	DUPONT DE NEMOURS ITALIANA s.r.l.
PRODOTTO	3DWALLDECOR	3D FORM ECHO	DUPONT™ CORIAN® 3D
ESEMPI DI TEXTURE			
MATERIALE	PASTA DI LEGNO E BAMBÙ PRESSATO	RESINA	CORIAN
POSA IN OPERA	MEDIANTE INCOLLAGGIO	A SECCO	
SUPPORTO	PARETE	PROFILATI METALLICI	

Tab 3.3.2.1_Tabella realizzata dall'autore di confronto tra i vari pannelli di completamento con texture tridimensionali

CREO

Il sistema di rivestimento 3D Creo ideato dalla effetedesign è composto da pannelli MDF laccati e posti in opera a secco. I pannelli di grandi dimensioni vengono incastrati ai traversi fissati a parete mediante i ganci del sistema di montanti posti sul retro dei pannelli.



Fig.3.3.2.1_ Immagini di riferimento tratte dal catalogo Creo <http://www.effetedesign.com/it/>.



Fig.3.3.2.2_ Foto realizzate dall'autore in occasione della fiera MAED 2012

PANELS MOUNTING SYSTEM

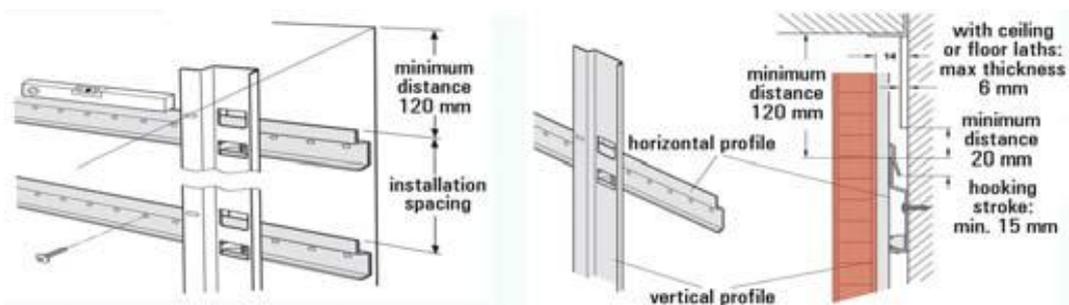
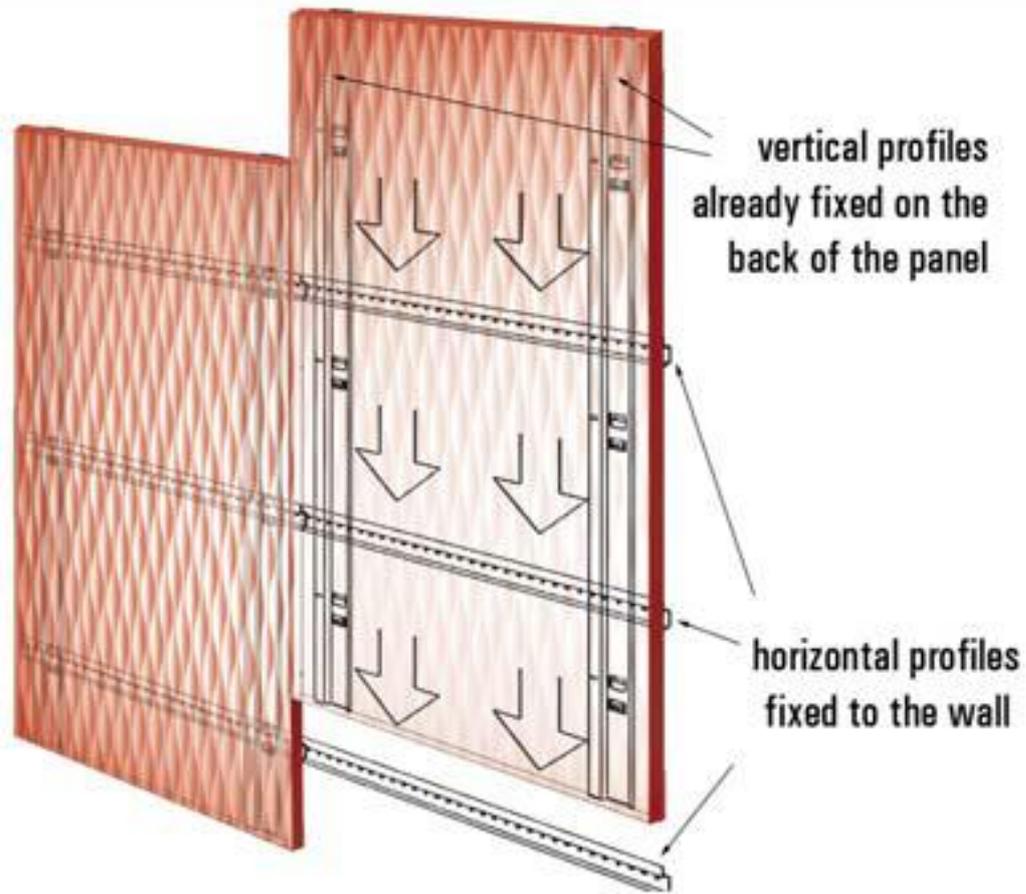


Fig.3.3.2.3 Sistema di posa in opera a secco dei pannelli di rivestimento Creo a parete
<http://www.effetredesign.com/it/>.

3D SURFACE

La prima collezione di 3D Surface, ideata sotto la direzione artistica di Romano Zenoni, è composta da tredici texture disegnate da Jacopo Cecchi ed offre, inoltre, la possibilità di sviluppare prodotti su richiesta. I pannelli 3D Surface sono realizzati con malta ceramizzata fibrorinforzata per interni ed esterni (TRG, TRB).

La posa in opera dei rivestimenti 3D SURFACE avviene mediante incollaggio e consiste nel disporre con un pennello o un rullo sulla superficie murale interessata l'apposita soluzione aggrappante, così da ottenere un ponte di adesione per la posa dei pannelli. Quando il prodotto si è asciugato si procede alla posa delle lastre a parete in aderenza tra loro disponendo dei punti di colla ad una distanza di 10/15 cm su tutta la superficie retrostante. In base alle dimensioni del pannello e al suo sviluppo (superiore a 150 cm da terra) è preferibile aggiungere il fissaggio meccanico con tasselli e viti. Dopo 2 ore dalla posa è possibile procedere alla stuccatura. Trascorse 24 ore dalla stuccatura, è necessario levigare con carta abrasiva la parte interessata in modo da ottenere una superficie perfettamente liscia e fluida pronta per essere verniciata.



Fig.3.3.2.4 _ Immagini di riferimento tratte dal catalogo 3D surface <http://www.3dsurface.it>. Sistema di rivestimento 3D per interni verniciato in opera.

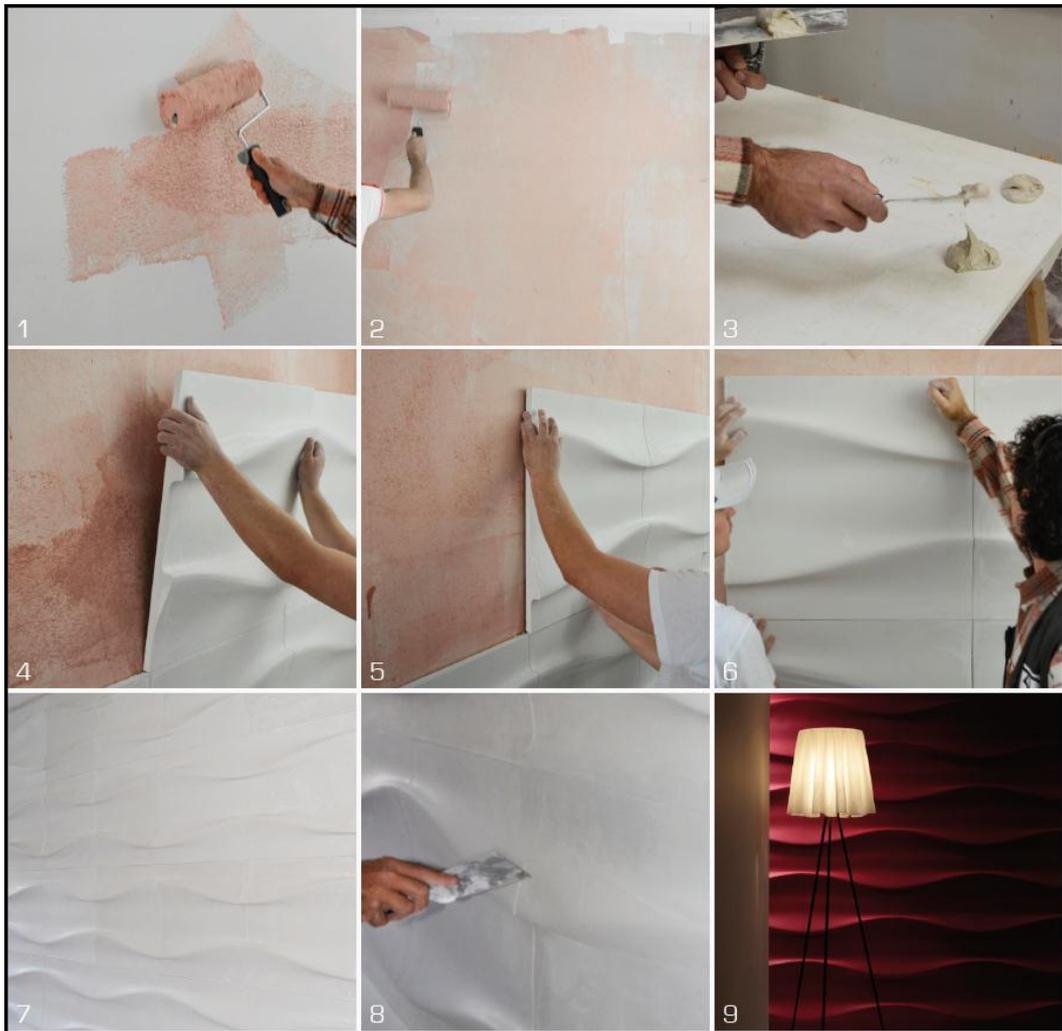


Fig.3.3.2.5_ Fasi di montaggio del sistema 3D Surface <http://www.3dsurface.it>.

3DWALLDECOR

I pannelli 3dwalldcor sono realizzati in pasta di legno naturale e bambù pressato. Grazie allo spessore ridotto (1,5 mm) e alla leggerezza (250-300 gr) dei pannelli 3dwall decor il montaggio a parete risulta semplice e veloce ed avviene tramite l'applicazione della colla nel retro di ogni pannello. Questi vengono disposti in aderenza l'uno all'altro ed in una seconda fase le giunture sono riempite con acrilico. L'ultima fase consiste nella pitturazione che può essere fatta con pennello o a spruzzo.



Fig.3.3.2.6_ Immagini dei pannelli decorativi 3dwalldcor <http://www.3dwalldcor.com/>.

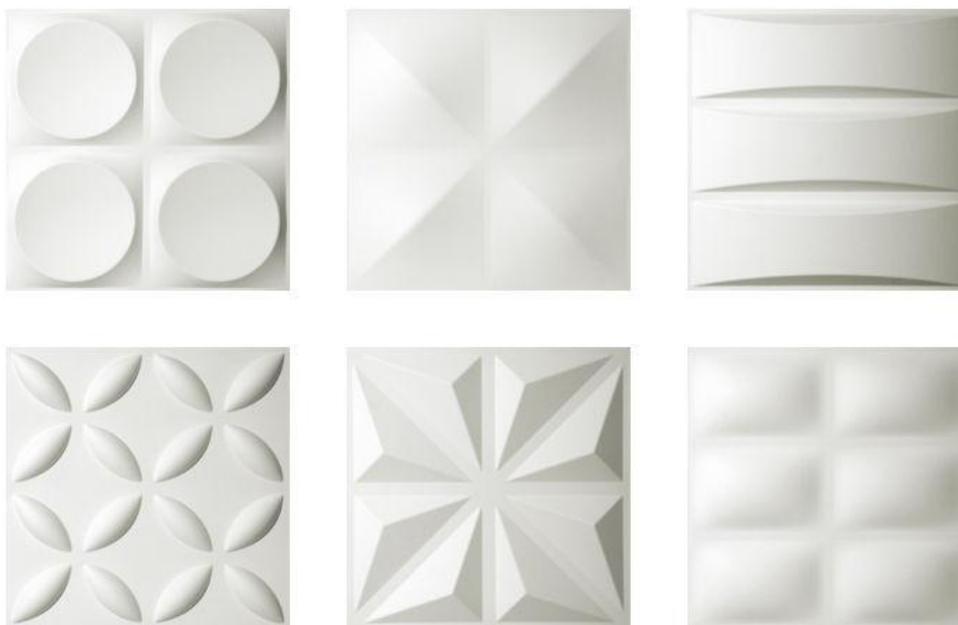


Fig.3.3.2.7_ Texture dei pannelli decorativi 3dwalldcor <http://www.3dwalldcor.com/>.



Fig.3.3.2.8_ Fasi di montaggio a parete dei pannelli decorativi 3dwalldecor <http://www.3dwalldecor.com/>.

DUPONT™ CORIAN® 3D

Il Corian è un composito formato da 2/3 di idrossido di alluminio (triidrato) e 1/3 di resina acrilica (polimetilmetacrilato) con aggiunta eventuale di pigmenti colorati. La chiave del suo successo risiede nella sua versatilità progettuale, è un materiale che può essere intagliato, fresato o lavorato come il legno, modellato, termoformato o intarsiato. Utilizzato soprattutto per i piani da cucina e del bagno a sostituzione di quelli in pietra, oggi sta espandendo le sue frontiere anche per i rivestimenti a parete sia per interni che per esterni.

La linea di pannelli decorativi 3D disegnata da Corrado Tibaldi, Alessio Erioli, Andrea Graziano per il rivestimento verticale di ambienti interni è caratterizzata da sofisticati pattern tridimensionali. La collezione si chiama Math e comprende lastre di grandi dimensioni per ambienti interni ispirate alle teorie di famosi matematici e a funzioni matematiche: Fibonacci, Gauss, Moirè, Fourier, Voronoi (tutti di lunghezza 2.400 mm x altezza 700 mm) e Phyllotaxis (lunghezza 700 mm x altezza 700 mm). E' inoltre possibile la produzione su richiesta di pannelli con motivi personalizzati.



Fig.3.3.2.9_ Immagini di riferimento tratte dal catalogo DUPONT™ CORIAN® 3D, Math series
http://www2.dupont.com/Corian_3D_Microsite/en_GB/.

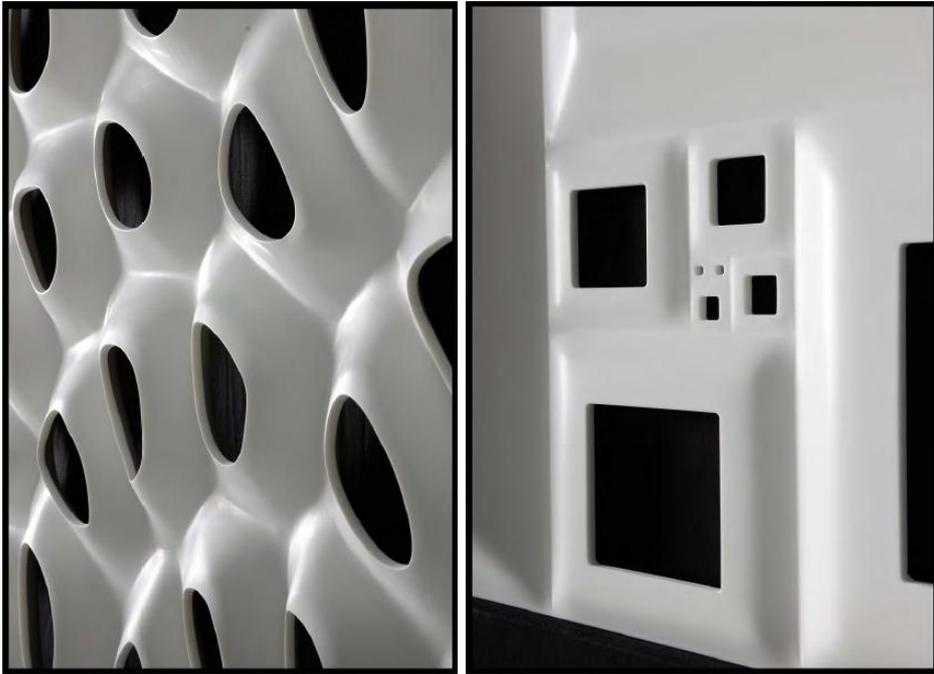


Fig.3.3.2.10_ Immagini di riferimento tratte dal catalogo DUPONT™ CORIAN® 3D, Math series
http://www2.dupont.com/Corian_3D_Microsite/en_GB/.

3 FORMS 3D SOLUTION

Il sistema 3form Echo integra ai pannelli decorativi il sistema di illuminazione. E' stato creato in varie fantasie e colori differenti. Viene realizzato con un materiale composto da Ecoresin e da un 40% di materiali riciclati. Prevede il montaggio a secco senza l'utilizzo di attrezzi speciali. Si compone di due supporti orizzontali metallici che vengono fissati a parete. Su di essi vengono incastrati gli elementi verticali uno per volta ed in sequenza gli elementi luminosi preassemblati.



Fig.3.3.2.11_ Immagine del sistema di rivestimento Echo³ di 3form materialsolution
http://www.3form.it/3d_solutions.php

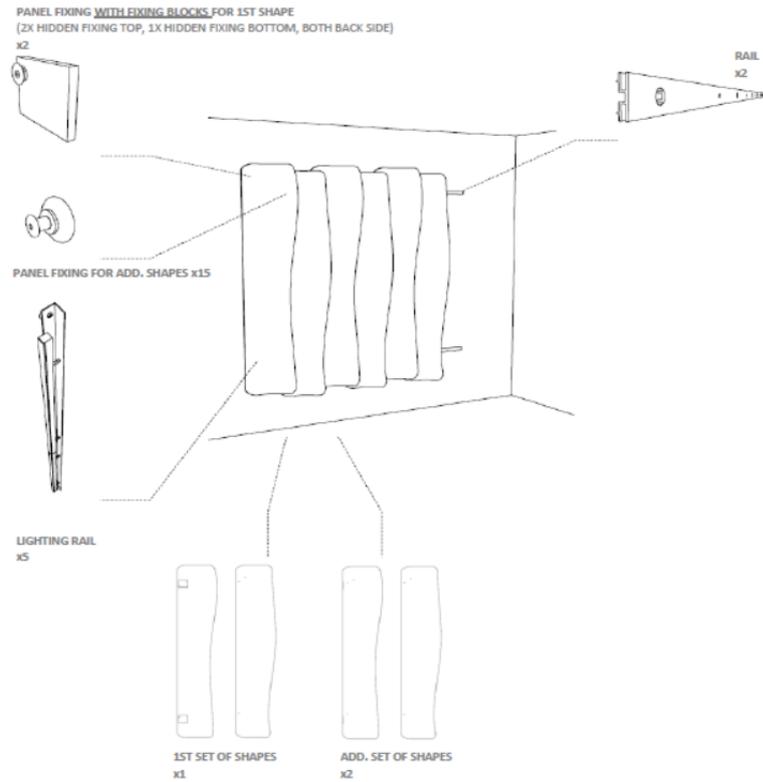


Fig.3.3.2.12_ Panoramica sugli elementi componenti il sistema Echo³ di 3form materialsolution
http://www.3form.it/3d_solutions.php

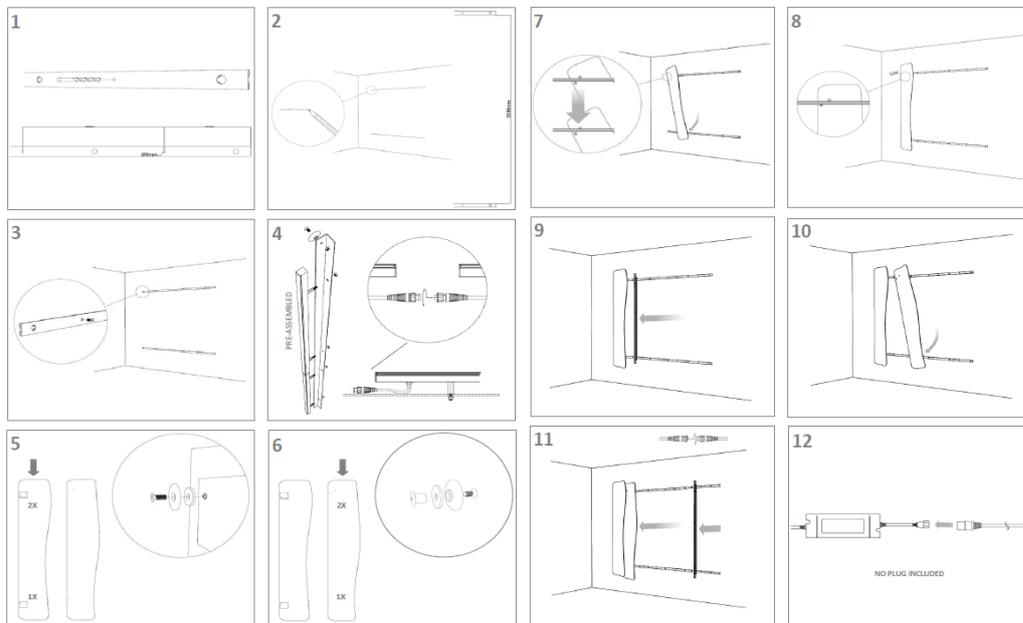
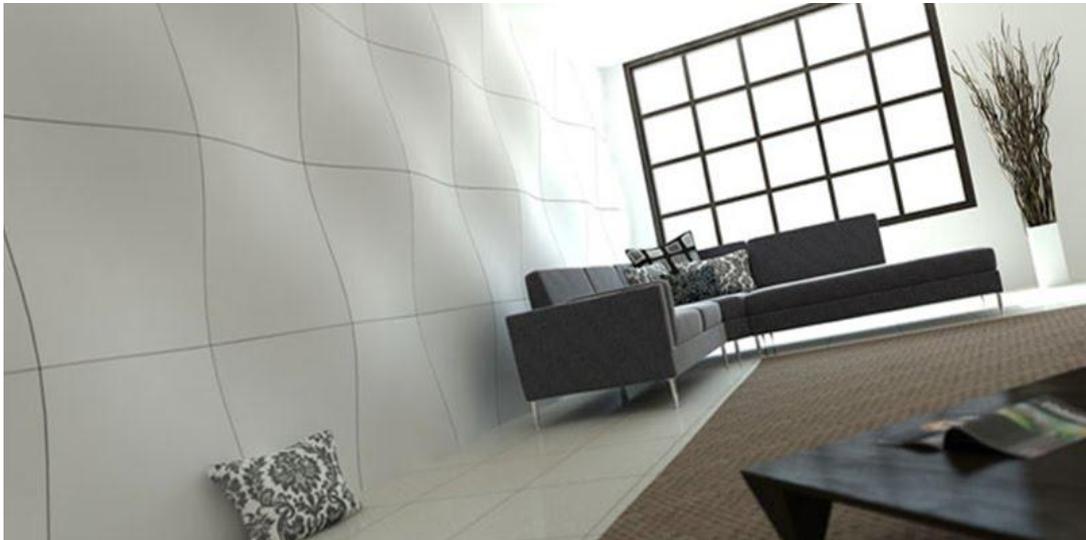


Fig.3.3.2.13_ Fasi di montaggio del sistema di rivestimento Echo³ di 3form materialsolution
http://www.3form.it/3d_solutions.php

DURALMOND



Tra i numerosi rivestimenti decorativi esposti, quello ideato dalla Duralmond si presenta come il più ecosostenibile poiché il materiale utilizzato per la realizzazione dei pannelli è un biocomposito, biodegradabile e riciclabile, ottenuto dall'unione dei gusci di mandorla tritati con varie resine (non specificate), mediante la tecnica dello stampaggio ad iniezione.

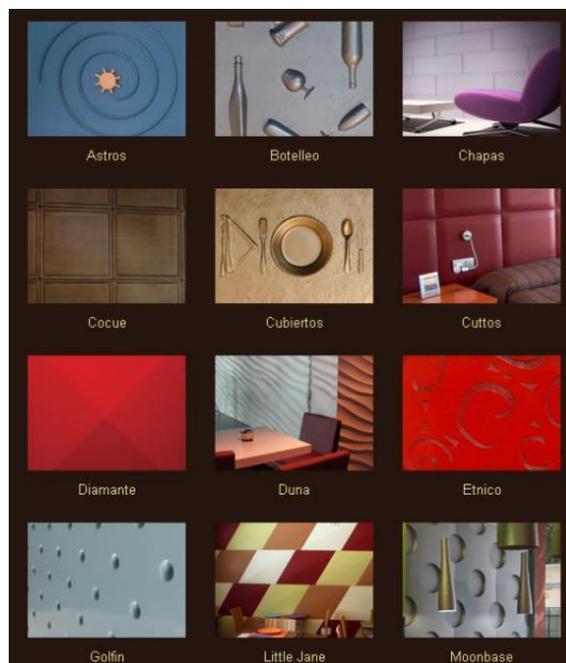


Fig.3.3.2.14_ Immagini di riferimento tratte dal catalogo Duralmond <http://www.duralmond.com/> Sistema di rivestimento 3D per interni in materiale biocomposito.

Prevede vari sistemi di istallazione. Il primo sistema d'istallazione su pareti, strutture in cartongesso e montanti in legno, avviene mediante incollaggio con adesivo poliuretano e chiodatura.

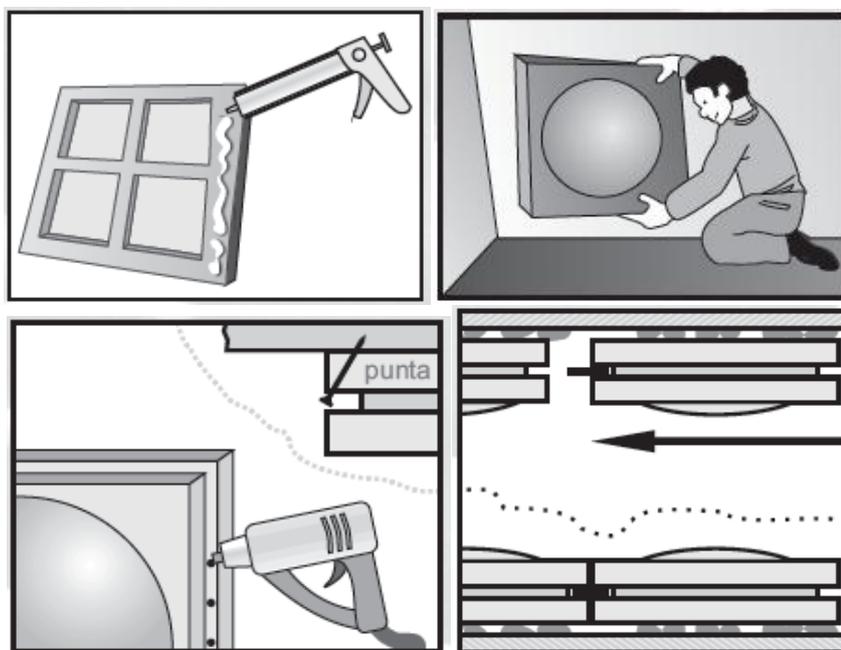


Fig.3.3.2.15_ Istallazione su parete piana. Tra le scanalature dei pannelli vengono posti dei tasselli per garantirne la planarità.

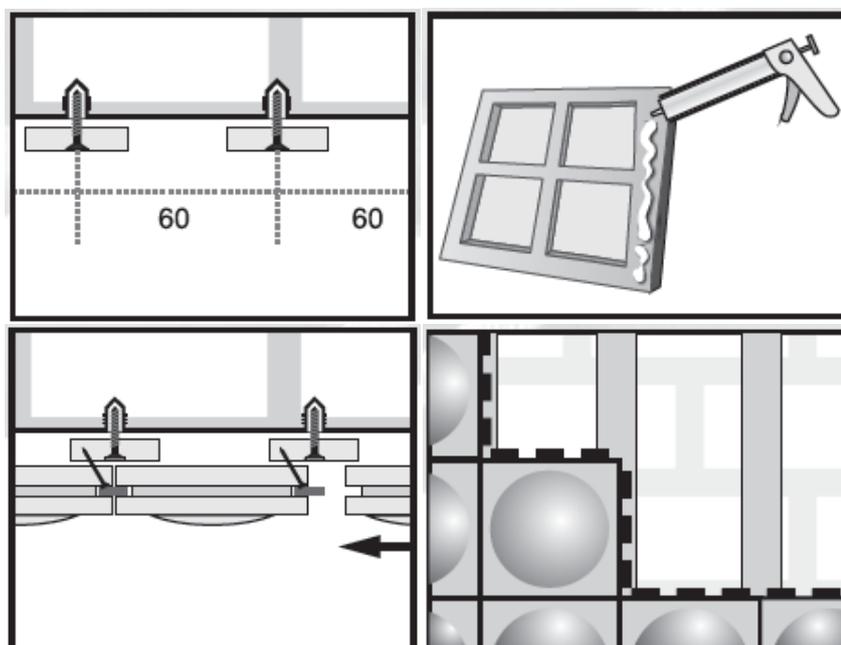


Fig.3.3.2.16_ Installazione su profili di legno. Tra gli elementi è posta una guarnizione per rendere i giunti a vista

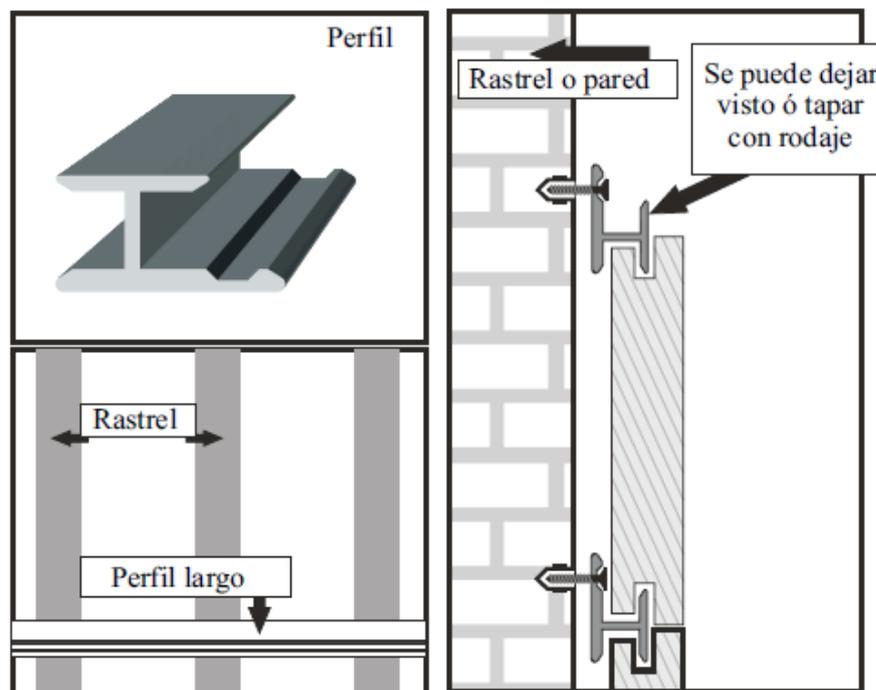
Il secondo sistema d'installazione, su pareti o montanti in legno, è a secco e avviene con il supporto di profili metallici di due lunghezze (3 m e 32 mm). Il montaggio si compie dal basso verso l'alto e da sinistra verso destra e comprende le seguenti fasi:

1. Posizionamento orizzontale e avvitamento a parete del profilo di alluminio lungo
2. Incastro del pannello al profilo mediante le scanalature lungo i bordi
3. Posizionamento del profilo corto e avvitamento a parete
4. Incastro del secondo pannello

Le fasi si ripetono fino al completamento della prima fila

5. Posizionamento del secondo profilo lungo al di sopra della prima fila di pannelli

Le fasi si ripetono fino alla conclusione dell'opera.



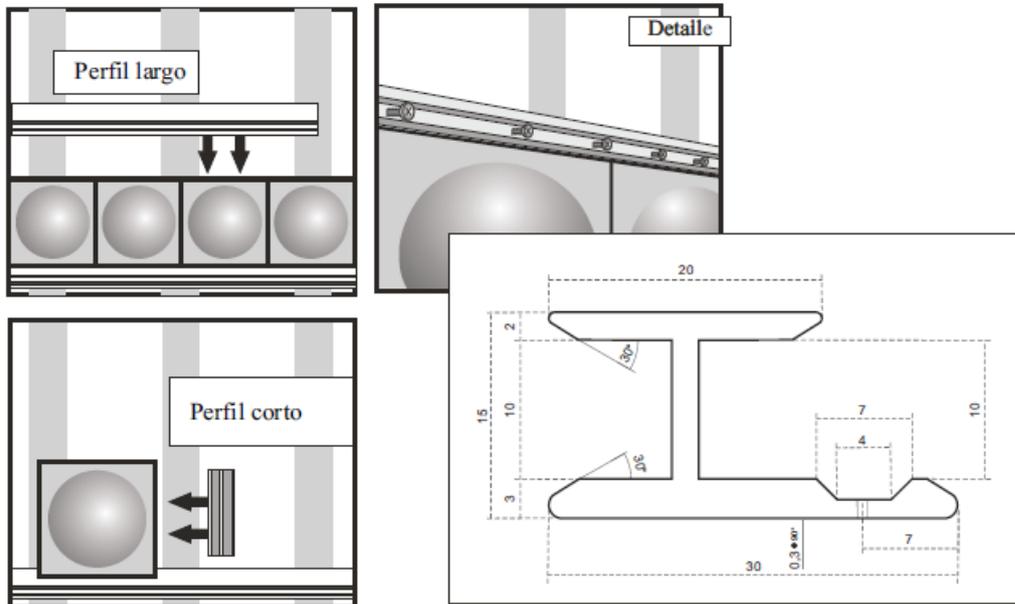


Fig.3.3.2.17_ Installazione a secco su parete piana o su montanti in legno, mediante profili metallici di supporto

Il terzo sistema di installazione è per avvitamento dal retro ed utilizzabile solo in casi particolari (architetture effimere, stand fieristici, vetrinistica ecc.) in cui sia possibile avere accesso alla parte retrostante del supporto.



Fig.3.3.2.18_ Installazione per avvitamento dal retro su parete di architetture effimere

3.4 Individuazione dei requisiti prioritari finalizzati alla salvaguardia ambientale

La EN 45020 definisce la *qualità* come *l'insieme delle caratteristiche di una entità che ne determina la capacità di soddisfare esigenze espresse ed implicite*. Le *esigenze espresse* sono quelle che derivano dalla normativa, quelle *implicite*, invece, sono le matrici stesse dell'opera.

Per *esigenza* si intende *ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica* [UNI 10838:1999]. L'esigenza è la traduzione in termini tecnici dei bisogni dell'utente, e cioè di colui che, in qualche modo, utilizza la costruzione edilizia. La UNI 8289 del 1981 definisce sette classi di esigenza (sicurezza, benessere, fruibilità, aspetto, gestione, Integrità, salvaguardia dell'ambiente) che esprimono i bisogni dell'utente finale, e cioè del principale utilizzatore del bene architettonico. In quanto *classi*, queste sono da intendersi come *contenitori* delle singole esigenze.

Classe di esigenza	Definizione	Descrizione	Esigenze
Sicurezza	Insieme delle condizioni relative alla incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema edilizio	Capacità del subsistema tecnologico o di sue parti a non danneggiarsi nelle condizioni di esercizio o a causa di fattori accidentali statisticamente prevedibili	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicurezza meccanica ▪ Sicurezza antincendio ▪ Sicurezza idrogeologica ▪ Sicurezza elettrica ▪ Sicurezza antintrusione
Benessere	Insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute ed allo svolgimento delle attività degli utenti	Capacità del subsistema ambientale o di sue parti a sviluppare stati in grado di favorire lo svolgimento delle azioni da parte degli utenti e a impedire rischi per la loro salute	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comfort termico ▪ Comfort visivo ▪ Comfort uditivo ▪ Comfort posturale ▪ Salubrità dell'aria ▪ Igienicità degli ambienti
Fruibilità	Insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio ad essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgi-	Capacità del sistema edilizio a favorire l'uso delle sue parti	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fruibilità degli spazi ▪ Fruibilità degli elementi tecnici

	mento delle attività		
Aspetto	Insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti	<i>da definire</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspetto delle finiture
Gestione	Insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio	Capacità del sistema edilizio o di sue parti di facilitare le operazioni relative al suo ciclo di vita, dalla realizzazione alla dismissione	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Economicità nella fase di realizzazione ▪ Economicità nella fase di esercizio ▪ Economicità nella fase di manutenzione ▪ Economicità nella fase di dismissione e riciclo
Integrabilità	Insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra di loro	Capacità del sistema edilizio o di sue parti di facilitare le operazioni relative al suo adattamento alle nuove necessità che dovessero sorgere durante il suo impiego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integrazione funzionale ▪ Integrazione spaziale
Salvaguardia dell'ambiente	Insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrasistemi di cui il sistema edilizio fa parte	Capacità del sistema edilizio di ridurre il consumo di risorse e la produzione di rifiuti, ed a favorire la protezione dei sovrasistemi naturali e socioculturali	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizzo delle risorse ▪ Produzione di rifiuti ▪ Tutela del paesaggio ▪ Tutela socio culturale

Tab.3.4.1_ Tabella riassuntiva della Norma UNI 8289 del 1981 tratta dal sito <http://www.tecnologica.altervista.org>

La norma UNI 11277 del 2008 introduce un articolato schema per indicare la struttura teorica sulla quale effettuare le valutazioni ambientali, e cioè quelle verifiche della qualità ambientale che dovrebbe declinarsi attraverso il benessere degli utenti finali e l'ecosostenibilità degli interventi. Si comprende quindi come la norma ponga due target di valutazione: l'uomo e l'ambiente naturale.

Classe di esigenza	Esigenza
Salvaguardia ambientale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salvaguardia dell'ambiente ▪ Salvaguardia della salubrità dell'aria e del clima ▪ Salvaguardia del ciclo dell'acqua ▪ Salvaguardia dell'integrità del suolo e del sottosuolo ▪ Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici
Utilizzo razionale delle risorse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizzo razionale delle risorse ▪ Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti ▪ Utilizzo razionale delle risorse idriche ▪ Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche (requisiti geometrici e fisici) ▪ Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche (requisito energetico)
Benessere, igiene e salute dell'utente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Benessere termico negli spazi esterni ▪ Benessere termico negli spazi interni ▪ Benessere visivo negli spazi esterni ▪ Benessere visivo negli spazi interni ▪ Benessere acustico degli spazi esterni ▪ Benessere acustico degli spazi interni ▪ Condizioni d'igiene ambientale connesse con le variazioni del campo elettromagnetico da fonti artificiali ▪ Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria interna

Tab.3.4.2_ Tabella riassuntiva della Norma UNI 11277 del 2008 tratta dal sito <http://www.tecnologica.altervista.org>

I requisiti rappresentano la traduzione di un'esigenza in fattori atti ad individuare le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni di uso e/o di sollecitazione (nota UNI 10838:1999). Essi sono la trasposizione a livello tecnico delle esigenze confrontate con il sistema di agenti, e cioè quell'insieme di fattori ambientali ed economici operante sull'organismo edilizio (nota UNI 8290-2:1983) Le norme identi-

ficano diversi requisiti, anche se è possibile individuarne di nuovi in funzione delle caratteristiche dell'intervento da realizzare.

I requisiti connotanti le partizioni interne verticali sono descritti dalla norma UNI 8087 del 1980:

Requisiti relativi a esigenze di fruibilità

- Attrezzabilità
- Resistenza ai carichi sospesi
- Transitabilità
- Regolarità di funzionamento
- Spostabilità e ricollocabilità

Requisiti relativi ad esigenze di benessere

- Isolamento termico
- Isolamento acustico
- Assorbimento dei suoni interni (assorbimento acustico)
- Benessere visivo
- Assenza di produzione di odori
- Gradevolezza al tatto
- Comodità di manovra

Requisiti relativi a esigenze di incolumità e sicurezza

- Stabilità statica
- Ininfiammabilità (reazione al fuoco)
- Non pericolosità in caso di incendio (resistenza al fuoco)

- Sicurezza elettrica
- Asetticità
- Protezione da intrusioni animali
- Protezione da intrusioni umane
- Innocuità al tatto
- Non dannosità

Requisiti relativi ad esigenze di *durata*

- Resistenza all'acqua
- Resistenza all'umidità
- Resistenza agli agenti chimici
- Resistenza agli agenti elettrochimici
- Resistenza agli agenti biologici
- Resistenza al calore
- Resistenza all'azione della luce
- Resistenza agli urti
- Resistenza alle vibrazioni
- Resistenza all'abrasione e all'incisione

Requisiti relativi a *esigenze estetiche*

- Attitudine a non essere sporcati
- Pulibilità
- Ripristinabilità

Requisiti relativi a esigenze di *utilizzazione delle risorse*

- Integrabilità tra elementi di produzione diversa
- Contenimento dei consumi energetici

Requisiti relativi a esigenze di *operabilità*

- Coordinamento dimensionale
- Sicurezza delle lavorazioni

Occorre approfondire i requisiti legati alla *salvaguardia ambientale*. Molti dei su citati requisiti, anche se non fanno specifico riferimento a questa esigenza, contribuiscono al suo soddisfacimento.

Spostabilità e ricollocabilità: Attitudine degli elementi tecnici ad essere spostati dalla sede iniziale e ricollocati in altre sedi senza subire danni e con un impiego limitato di manodopera specializzata e di attrezzature. Rispondono a questo requisito le pareti di uffici facilmente smontabili.

Per le pareti divisorie tra ambienti separati della stessa casa o tra appartamenti diversi è preferibile fare riferimento ad altri requisiti quali la recuperabilità, la smontabilità, la separabilità e l'omogeneità delle componenti. Inoltre con il tempo le esigenze dell'utenza sono soggette a mutamento e ciò determinerà delle trasformazioni. Al fine di limitarne gli impatti è necessaria la reversibilità degli elementi tecnici. Questa si può tradurre tramite dei *requisiti-chiave*:

Accessibilità: Ogni elemento o strato funzionale dovrebbe essere concepito con una particolare attenzione alle operazioni alle quali questo elemento potrà essere sottoposto durante o alla fine del ciclo di vita. Ciò comporta l'esigenza di dedicare una particolare attenzione alla valutazione/previsione delle modalità di connessione/sconnessione di ciascun elemento tecnico rispetto a quelli contigui.

Recuperabilità: Attitudine ad essere recuperato a fine vita. Ciò presuppone che il componente sia reimpiegabile o riutilizzabile o riciclabile. Ogni elemento tecnico dovrebbe essere concepito in modo tale che, al termine del suo ciclo di vita (o anche nel caso di una sua eventuale rimozione/ricollocazione dovuta ad interventi manutentivi, o di sostituzione dovuti ad obsolescenza tecnologica e/o funzionale) sia possibile ed agevole prevederne il reimpiego, e cioè un nuovo im-

piego analogo a quello della sua prima utilizzazione, oppure una riutilizzazione totale o parziale per la realizzazione di un altro prodotto diverso, o ancora la reintroduzione diretta nel ciclo di produzione da cui è stato generato.

Smontabilità: Attitudine ad essere smontato. Ogni elemento tecnico dovrebbe essere pensato, fabbricato e messo in opera in modo da facilitarne al termine del suo ciclo di vita lo smontaggio ai fini del recupero e/o smaltimento e/o ricollocazione. Ciò comporta l'individuazione preventiva degli elementi tecnici che più probabilmente sono oggetto di manipolazione durante il ciclo di vita dell'edificio e la concezione di tali elementi in ordine a questo particolare requisito.

Separabilità dei componenti: Attitudine dei componenti ad essere separati tra loro. La messa in opera deve garantire che al termine del ciclo di vita, sia possibile ed agevole separare i componenti al fine di facilitare la loro immissione in processi di trattamento-riciclo e/o smaltimento.

Omogeneità dei componenti: Attitudine dei componenti ad essere omogenei tra loro cioè con caratteristiche chimiche compatibili, in modo tale che, al termine del ciclo di vita, sia facilitata e garantita la immissione nei processi di trattamento o riciclo.

Per soddisfare questi requisiti è necessario che le pareti siano assemblate a secco, senza l'utilizzo di collanti o l'impiego di materiali di connessione destinati a consolidarsi dopo la posa, e che i componenti utilizzati possano essere riutilizzati a fine vita o con la medesima funzione in altro contesto, o con un'altra funzione senza essere sottoposti a trasformazioni o con la stessa o un'altra funzione dopo aver subito un processo di lavorazione.

Altri requisiti contribuiscono alla salvaguardia ambientale.

Isolamento termico: Attitudine ad assicurare un'opportuna resistenza al passaggio di calore in funzione delle condizioni climatiche (UNI 8290-2:1983). Nelle pareti interne è un requisito richiesto solo se di separazione tra locali con temperature di esercizio differenti. La normativa vigente nazionale (Dpr 59 del 2009) prevede un valore minimo di trasmittanza di 0,8 W/MqK tra due unità immobiliari confinanti per evitare i cosiddetti "furti di calore".

Assenza di produzione di odori e assenza di emissioni delle sostanze nocive: Assenza di emissione di fibre, di composti organici volatili e di microrganismi al fine di assicurare l'indoor air quality.

Contenimento dei consumi energetici: Attitudine a contenere i consumi energetici durante tutto il ciclo di vita degli elementi componenti il sistema.

Inoltre, i requisiti relativi all'esigenza di *durata* concorrono a pieno a soddisfare l'esigenza di salvaguardia ambientale poiché se i componenti, i materiali ed il sistema nel suo complesso offrono una buona resistenza agli agenti esterni avranno meno bisogno di essere sostituiti quindi graveranno meno sul bilancio dei costi ambientali in termini di utilizzo di risorse e smaltimento di rifiuti.

La tabella che segue riassume i requisiti ambientali introdotti.

SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE	USO SOSTENIBILE DELLE RISORSE NATURALI	MATERIE PRIME E SECONDARIE ECOLOGICAMENTE COMPATIBILI
	TRASFORMAZIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE	MATERIE PRIME E SECONDARIE TRASFORMATE CON UN PROCESSO ECOLOGICAMENTE COMPATIBILE
	CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO CAUSATO SULL'AMBIENTE ESTERNO	BIODEGRADABILITA' DEI MATERIALI
		ATOSSICITA' DEI MATERIALI
	CONTROLLO DEL CICLO DI RIUSO	RECUPERABILITA' (reimpiegabile/riutilizzabile/riciclabile)
		SMONTABILITA'
		SEPARABILITA' DEI COMPONENTI
		OMOGENEITA' DEI COMPONENTI

Tab.3.4.3_ Tabella dei requisiti ambientali per la partizione interna verticale

4 Ipotesi di partizione interna verticale

4.1 Risultati delle prove aggiuntive effettuate sul materiale biocomposito ENMAT 6010P/kenaf ed elaborazione dei dati

Il materiale biocomposito studiato essendo sottoponibile ai processi di produzione delle plastiche offre notevoli potenzialità estetiche per la realizzazione di pannelli di rivestimento. Pertanto, nonostante, siano state verificate la sua attitudine a farsi forare e tagliare, e l'aderenza agli stucchi, che lo renderebbero utilizzabile nello stesso modo del cartongesso (ma non certo con la stessa velocità e facilità di messa in opera), il materiale è adeguato alla produzione di elementi di rivestimento faccia a vista con potenziale estetico. Un prodotto che si propone come innovativo sia perché offre soluzioni "su misura" per rispondere in maniera efficace agli ultimi trend della domanda in tema di design degli spazi interni sia perché risponde ai requisiti legati alla sostenibilità essendo realizzato con materiale biodegradabile.

Per tale impiego è emersa la necessità di indagare un'altra caratteristica del materiale studiato quale la conducibilità termica.

Prova termica

Prova del Fattore K

Un provino di biocomposito di dimensioni 15x15x0,35 cm è stato sottoposto alla prova del fattore K per determinarne la conducibilità λ . Per effettuare la prova ci si è serviti di un Test Cell di dimensioni 40x40x40 cm provvisto di due fori circolari di 20 cm. A chiusura di uno di questi fori è stato fissato il provino di materiale biocomposito, mentre all'esterno dell'altro foro è stata posizionata una stufa che è servita per riscaldare l'interno della cella fino a raggiungere una temperatura almeno maggiore di 10° C rispetto a quella dell'aria esterna. Per verificare queste temperature sono stati posizionati due termometri, uno all'interno della cella e l'altro all'esterno, mentre sulla faccia interna del provino

è stata fissata una sonda flussometrica di diametro 10 cm per misurare il flusso termico che passa attraverso il materiale. Tutti questi dati raccolti sono stati elaborati da uno strumento di nome Babuc/M. Al fine di calcolare la conduttività del materiale sono state raccolte le misure della temperatura interna della cella T_i , della temperatura esterna T_e , del flusso termico FLUX e della trasmittanza K ogni 10 mn come prescrive la norma UNI 7357.

Tabella misurazioni con Babuc				
Ore	Ti	Te	FLUX	KGLB
16,37	42,14	26,77	366	23,75
16,47	42,75	26,47	368	22,68
16,57	43,83	26,43	386	22,3
17,07	43,56	26,01	353	20,21
17,17	42,41	26,66	390	24,8
17,27	45,25	26,39	375	19,91

Tab. 4.1.1_ Tabella riassuntiva elaborata dall'autore delle misurazioni effettuate con il Babuc

In seguito sono stati effettuati i calcoli per determinare la conduttività del materiale.

Tabella per il calcolo della conduttività del materiale				
Temperatura interna	θ_i	43,56	°C	
Temperatura esterna	θ_o	26,01	°C	
Flusso	Φ	353	W m ⁻²	
K globale	K_{tot}	24,8	W m ⁻² K ⁻¹	
K esterno	K_o		W m ⁻² K ⁻¹	
K interno	K_i		W m ⁻² K ⁻¹	
Temp.superf. Interna	$\theta_{s,i}$	42,98137	°C	0,578627384
Temp.superf. Esterna	$\theta_{s,o}$	42,46103	°C	0,520339184
Spessore provino	s	0,35	cm	
Coefficiente conduttanza unitaria	α_i	1,223	W m ⁻² K ⁻¹	0,817661488
Coefficiente conduttanza unitaria	α_o	1,36	W m ⁻² K ⁻¹	0,735294118
Coefficiente globale di trasmissione termica della parete	K_{wall}	23,24704	W m ⁻² K ⁻¹	23,24704439
Conduttività del materiale	λ	0,081365	W m ⁻¹ K ⁻¹	

Tab. 4.1.2_ Tabella elaborata dall'autore riassuntiva dei calcoli per determinare la conduttività del materiale studiato

La conduttività risultante del materiale biocomposito studiato è $0,081 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.



Fig. 4.1.1_ Foto del Test Cell e del Babuc utilizzati per le misurazioni.

4.2 Progettazione del sistema

Il sistema di parete proposto è stato studiato con l'obiettivo di permettere il disassemblaggio dei suoi componenti, per la manutenzione o la sostituzione degli stessi e per consentirne a fine vita il riutilizzo o il riciclo o il compostaggio. La scelta dei materiali e del sistema di assemblaggio va nella medesima direzione.

Il sistema è composto da:

- *Struttura portante*
- *Isolante interno*
- *Pannello di completamento*

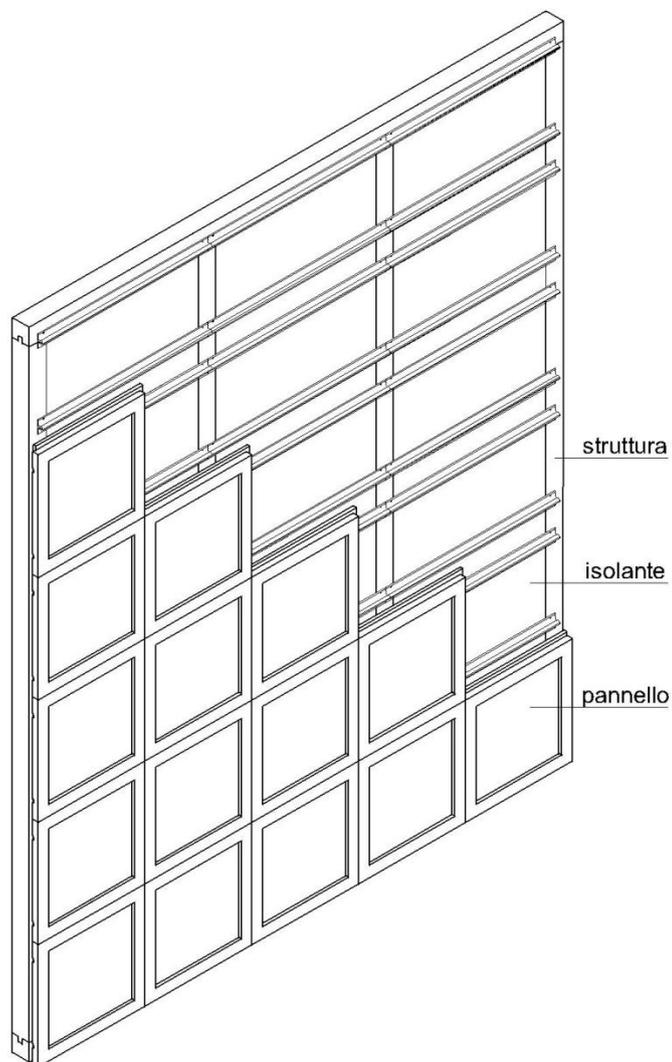


Fig. 4.2.1_ Il sistema è composto da struttura portante, isolante interno e pannelli di completamento.

4.2.1 Struttura portante

4.2.1.1 Il legno

Il materiale scelto per la struttura portante del sistema è il legno. L'intera filiera del legno è uno dei cicli produttivi ambientalmente più virtuosi, e la recente comunicazione della Commissione Europea "Industrie forestali innovative e sostenibili nell'UE. Un contributo alla strategia dell'Unione europea per la crescita e l'occupazione" testimonia l'importanza attribuita alla filiera nell'ottica della sostenibilità. La Commissione, oltre ad affrontare con proposte d'azione le principali problematiche della filiera (tra cui l'accesso alle materie prime e il contributo dell'industria del legno alla lotta ai cambiamenti climatici) individua anche la possibilità di riconoscere ai prodotti in legno quella funzione di Carbon Storage che per loro natura svolgono. L'alta percentuale di materiale riciclato, la sostenibilità della gestione forestale e la sottrazione di CO₂ all'atmosfera che ogni prodotto in legno assicura fino alla fine del suo ciclo di vita compongono un quadro che pone il legno in cima alla classifica dei materiali più sostenibili.

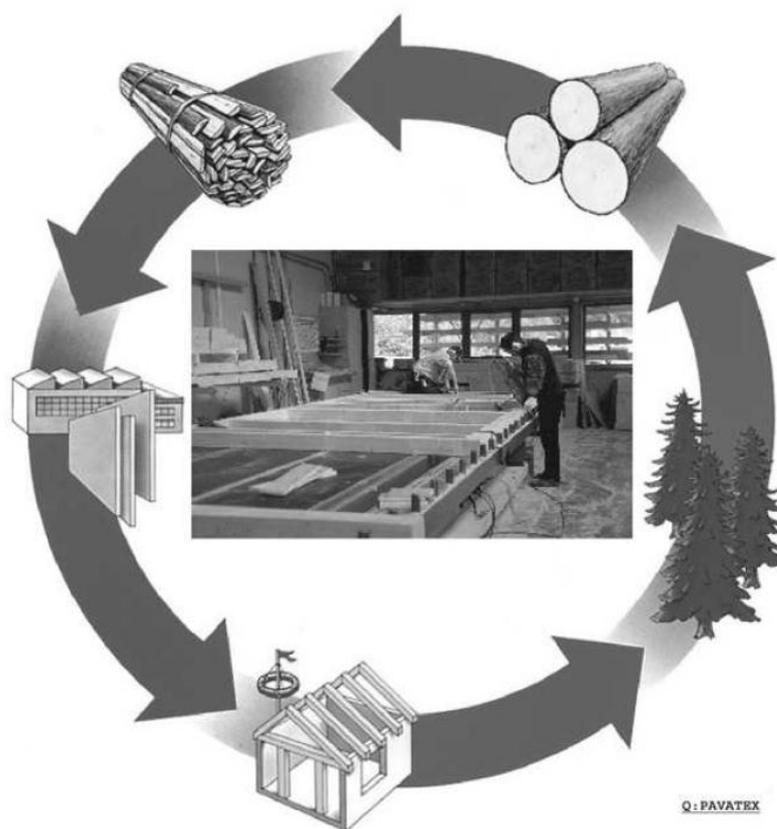


Fig. 4.2.1.1.1 _ Immagine del ciclo di vita del legno tratta dal sito www.pavatex.ch

Nonostante ciò anche l'utilizzo del legno può produrre alcuni impatti sull'ambiente, quali:

- il consumo di materie prime vergini: legno e suoi derivati, poiché se le foreste da cui proviene non sono gestite correttamente, è possibile che l'attività di taglio del legname provochi uno sfruttamento eccessivo dell'area, il disboscamento non controllato, la riduzione dell'assorbimento di CO₂ e la perdita di biodiversità. Per ovviare a questo problema è importante che la scelta del legno come materia prima vergine sia da foreste certificate (nota www.pefc.it/ www.fsc-italia.it/), di provenienza locale per ridurre i costi di trasporto e per prodotti finali composti da un unico tipo di materiale per assicurarne il riciclo a fine vita.
- Inoltre come ogni materiale che deve essere trasformato in prodotto genera impatti nella lavorazione (sezionatura, levigatura, squadratura, foratura, ecc.): consumo di energia elettrica, emissione di polveri, produzione di rifiuti (scarti di lavorazione). E' importante per minimizzare questi impatti l'adozione di macchinari ad elevata efficienza energetica e il recupero degli scarti di produzione.
- Per ovviare agli impatti conseguenti le successive fasi di assemblaggio e rifinitura (quali: consumo di energia elettrica, utilizzo di sostanze potenzialmente nocive, colle e vernici, emissione di polveri e formaldeide, produzione di rifiuti) è necessario adottare macchinari ad elevata efficienza energetica, utilizzare colle con nullo o ridotto contenuto di sostanze tossiche, recuperare gli scarti ed procedere al corretto smaltimento dei rifiuti, utilizzare vernici e solventi a base acquosa.

Infatti l'impiego di prodotti per la verniciatura e la finitura con un minor impatto ambientale permette:

- riduzione dei costi per l'installazione e la gestione di impianti per l'abbattimento dei COV (composti organici volatili);
- riduzione dell'emissione di COV e CO₂ grazie alla riduzione dei consumi energetici degli impianti per il trattamento di questi inquinanti.

Garantita una lavorazione che tenga conto delle prescrizioni individuate il legno si pone come materiale altamente biocompatibile ed ecosostenibile.

4.2.1.2 Sistema di assemblaggio

La struttura portante per la proposta progettuale della partizione interna verticale è composta da montanti e traversi in legno massello, con connessioni ad incastro. L'essenza individuata per la realizzazione di questi elementi è l'abete rosso, lo spessore è 8 cm.

Il sistema di assemblaggio degli elementi del telaio mutua le connessioni del sistema FINNWALL.

Il Sistema FINNWALL è composto da una struttura portante in legno lamellare di spessore 5 cm. Provvista di scanalatura di 5 mm lungo 2 lati, atta all'alloggio delle graffe metalliche applicate manualmente con estrema semplicità alle estremità di ogni elemento, che permettono il perfetto incastro dei montanti verticali con gli elementi orizzontali formanti il telaio della struttura.



Fig. 4.2.1.2.1 Applicazione graffa metallica all'estremità del montante. Sistema FINNWALL. Immagine tratta dal sito <http://www.fh-finnholz.com/finnwall-holzstaender.html>

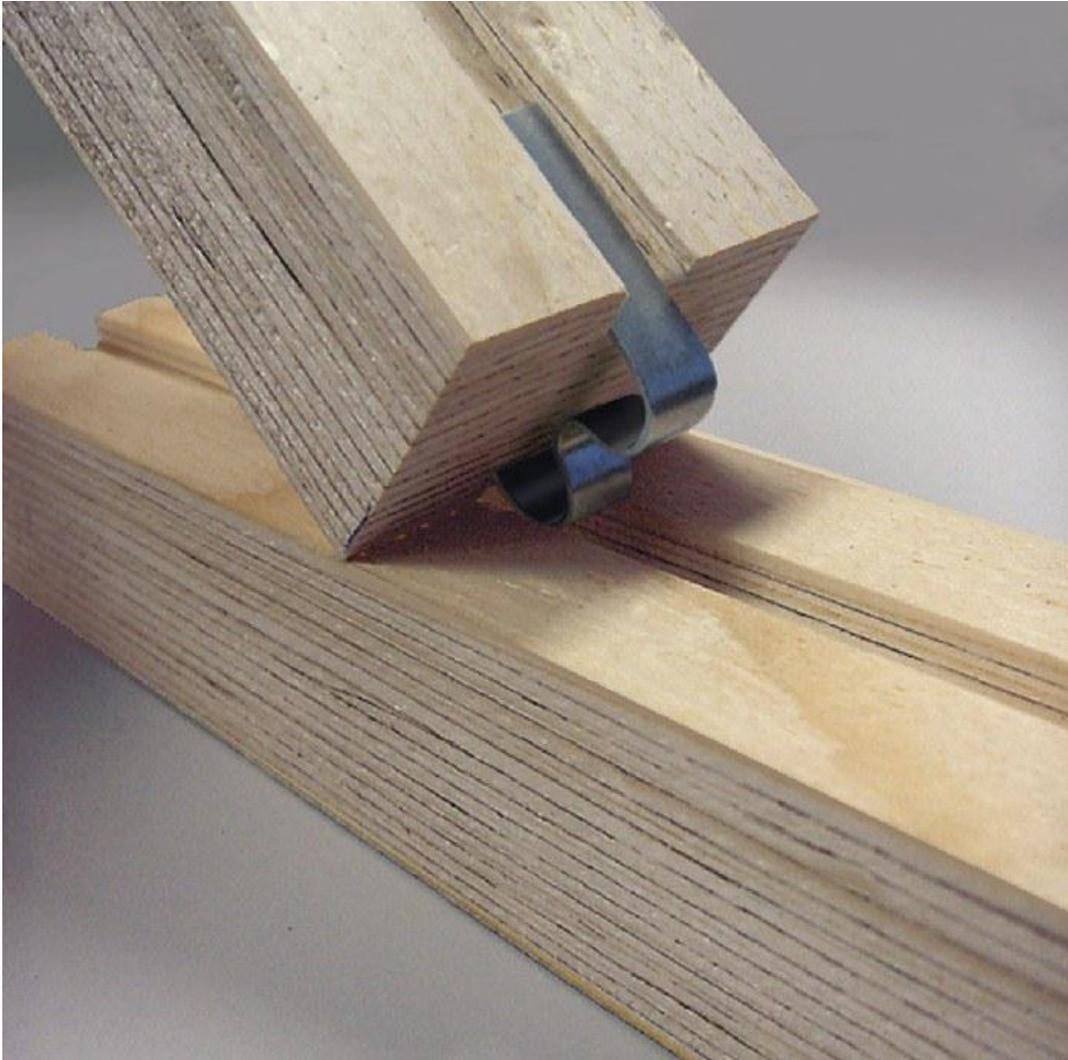


Fig. 4.2.1.2.2 Incastro montante al traverso a pavimento. Sistema FINWALL. Immagine tratta dal sito <http://www.fh-finnholz.com/finnwall-holzstaender.html>

Fasi di montaggio

1. Applicazione della guaina nella parte inferiore del traverso a pavimento **fig. 4.2.1.2.3**
2. Avvitamento traverso a pavimento **fig. 4.2.1.2.4**
3. Inserimento graffe alle estremità del montante a parete **fig. 4.2.1.2.1**
4. Incastro montante a parete con traverso a pavimento mediante l'inserimento della graffa inferiore nella scanalatura del traverso a terra **fig. 4.2.1.2.2**
5. Verifica verticalità del montante **fig. 4.2.1.2.5**
6. Avvitamento montante a parete
7. Posizionamento traverso a soffitto **fig. 4.2.1.2.6**
8. Avvitamento traverso a soffitto **fig. 4.2.1.2.7**
9. Costruita l'intera cornice si passa all'inserimento dei montanti intermedi mediante il sistema di incastro delle graffe metalliche, inserite all'estremità dei montanti, nelle scanalature dei traversi a soffitto e a pavimento **fig. 4.2.1.2.8**
10. Introduzione di traversi intermedi come architravi di eventuali bucatore mediante l'avvitamento ai montanti limitrofi **fig. 4.2.1.2.9**
11. Foratura traverso per consentire il passaggio dei cavi ed inserimento dei medesimi **fig. 4.2.1.2.10**

Il sistema FINNWALL può essere utilizzato anche per la costruzione di contropareti **fig. 4.2.1.2.11**.

Le seguenti immagini che illustrano le fasi di montaggio sono tratte dal sito: <http://www.metsawood.de/produkte/finnwall/Pages/Praxistipps.aspx>



Fig. 4.2.1.2.3_ Applicazione della guaina nella parte inferiore del traverso a pavimento



Fig. 4.2.1.2.4_ Avvitamento traverso a pavimento



Fig. 4.2.1.2.5_ Verifica verticalità del montante



Fig. 4.2.1.2.6_ Posizionamento traverso a soffitto



Fig. 4.2.1.2.7_ Avvitamento traverso a soffitto



Fig. 4.2.1.2.8_ Inserimento dei montanti intermedi



Fig. 4.2.1.2.9_ Introduzione di traversi intermedi come architravi di eventuali bucatore



Fig. 4.2.1.2.10_ Foratura traverso per consentire il passaggio dei cavi ed inserimento dei medesimi



Fig. 4.2.1.2.11_ Il sistema FINNWALL può essere utilizzato anche per le contropareti

4.2.2 Isolante interno

4.2.2.1 Requisiti e prestazioni degli isolanti

Per isolanti termici si intendono tutti i sistemi e le operazioni costituenti gli sforzi atti a ridurre il flusso termico di calore scambiato tra due ambienti a temperature differenti. Per isolanti acustici invece quelli che si occupano di limitare la diffusione del suono. Alcuni isolanti permettono contemporaneamente di limitare sia il passaggio del calore che quello del suono.

Di seguito sono riportate due tabelle, realizzate dal gruppo di ricerca del ex Dipartimento di Configurazione ed Attuazione dell'Architettura presieduto dalla prof. Arch. Dora Francese nell'ambito della Convenzione fatta con la Regione Campania nel 2009 per la redazione delle linee guida per l'edilizia sostenibile, che sintetizzano i requisiti tecnologici ed ambientali che gli isolanti termici devono soddisfare.

Tabella Isolamento Termico, Requisiti Tecnologici e Prestazioni, UNI 8289/8290

ESIGENZE	REQUISITI	SOTTOREQUISITI	<u>P</u> RESTAZIONI[i]
	Sicurezza in caso d'incendio	Resistenza al fuoco	ⁱ Il materiale isolante deve presentare una resistenza al fuoco (REI) minima pari a 30-60[ii]
		Reazione al fuoco	ⁱⁱ isolante deve presentare una classe di infiammabilità pari a 1 (non infiammabile) oppure 2 (poco infiammabile)[iii]
		Assenza delle emissioni delle sostanze nocive	ⁱⁱⁱ L'isolante termico non deve emanare alcuna sostanza nociva durante la fase di esercizio.
		Controllo della scabrosità	-
		Protezione da insetti o da animali nocivi	Nel caso di utilizzo di materiali naturali come la canapa, la lana di pecora, la cellulosa, il kenaf, etc., deve essere garantito un opportuno trattamento contro tarme, parassiti e altri animali con sostanze non tossiche.
Benessere	Benessere microclimatico	Isolamento termico	Vedi scheda Isolamento Termico Quadro Generale
		Permeabilità all'aria	In caso di utilizzo di materiali con un valore $\mu_{e,2}$ (permeabilità al vapore acqueo) basso, è necessario prevedere la presenza di un ulteriore strato di barriera al vapore.
	Benessere	Isolamento acustico ai rumori ae-	E' consigliabile scegliere materiali isolanti che presentino

Capitolo 4. Ipotesi di partizione interna verticale

	acustico	rei esterni	un potere fonoisolante (R) minimo pari a 15-18 dB.	
		Isolamento acustico ai rumori aerei interni		
		Isolamento acustico ai rumori di calpestio		
	Benessere olfattivo	Assenza delle emissioni di odori sgradevoli	-	
			Resistenza agli attacchi biologici	Il materiale isolante deve essere capace di resistere ad attacchi biologici causati da microrganismi di natura vegetale (muffe) o da insetti ed altri animali.
			Resistenza agli agenti aggressivi chimici	Gli elementi non devono subire eccessivi danni causati da fenomeni di degrado estetico e funzionale, in particolare da acqua meteorica e di lavaggio, dall'umidità atmosferica e da eventuali fattori inquinanti (anidride solforosa, acidi, ecc.).
			Controllo della condensazione interstiziale	Per garantire il contenimento (riduzione) del manifestarsi dei fenomeni di condensa interstiziale, i materiali isolanti con un basso valore di permeabilità al vapore acqueo devono essere accompagnati da una barriera al vapore.[iv]
			Resistenza all'usura	Il materiale isolante deve assicurare prestazioni costanti nel tempo.
			Resistenza al calore di fonti localizzate	Il materiale isolante, sotto l'azione di fonti di calore localizzato, come ad esempio elementi radianti dell'impianto di riscaldamento (a parete, a pavimento, a battiscopa), non deve subire danni di aspetto (deformazioni, cambiamenti di colore, bruciature, fessurazioni) o funzionali.
			Sostituibilità	-
Stabilità morfologica			Il materiale isolante deve possedere un'adeguata stabilità morfologica a fronte di dilatazioni e contrazioni dovute a cause termiche, nonché dilatazioni, rigonfiamenti e aumenti di peso dovuti ad assorbimento di liquidi.	
Integrabilità	Integrazione funzionale	Attitudine alla connessione funzionale delle parti costituenti	I collegamenti tra il materiale isolante e l'elemento strutturale (parete, soffitto, pavimento) devono essere progettati e realizzati in maniera funzionale e in modo da garantire le prestazioni richieste all'elemento specifico.	

		Attitudine alla connessione funzionale con gli elementi contigui	I collegamenti tra il materiale isolante e gli elementi contigui (barriera al vapore, massetto, etc.) devono essere progettati e realizzati in maniera funzionale e in modo da garantire le prestazioni richieste all'elemento specifico.
		Attitudine all'integrazione impiantistica	Il materiale isolante deve essere messo in opera tenendo conto della presenza di eventuali elementi radianti dell'impianto di riscaldamento (a parete, a pavimento, a battiscopa) e altri sistemi impiantistici.
Salvaguardia dell'ambiente	Controllo dell'inquinamento causato sull'ambiente esterno	Biodegradabilità dei materiali	Ove possibile, preferire sempre l'utilizzo di materiali con il più alto livello di biodegradabilità.
		Atossicità e non pericolosità dei materiali	I materiali utilizzati non devono essere fonte di emissioni nocive per l'ambiente e la salute degli utenti.
	Controllo del ciclo di riuso	Recuperabilità	L'isolante termico deve essere scelto in modo tale che, al termine del suo ciclo di vita, sia possibile reintrodurlo nel ciclo produttivo tramite il riciclaggio. Per il reinserimento nel ciclo produttivo dei vari materiali isolanti vedi scheda Isolante Termico – Quadro Generale voce Materiali-Note Ambientali
		Smontabilità	Il materiale isolante deve essere messo in opera in modo tale che, al termine del suo ciclo di vita, sia possibile ed agevole, anche in termini di tempo, eseguire il suo smontaggio rispetto agli elementi tecnici contigui, al fine di facilitare il loro recupero e/o smaltimento.
		Separabilità delle componenti	Il materiale isolante, se realizzato con materiali disomogenei, deve essere messo in opera in modo tale che, al termine del suo ciclo di vita, sia possibile ed agevole separare tali componenti al fine di facilitare la loro immissione in processi di trattamento-riciclo e/o smaltimento.
		Omogeneità delle componenti	Il materiale isolante deve essere realizzato, il più possibile, con materiali omogenei (con caratteristiche chimiche compatibili) in modo tale che, al termine del suo ciclo di vita, sia facilitata e garantita la sua immissione in processi di trattamento o riciclo.
Aspetto	Controllo delle finiture	Controllo della regolarità geometrica	-
		Controllo dell'uniformità di superficie	-

1. Il simbolo – significa che, per l'elemento tecnico preso in considerazione, la prestazione non è prevista.

2. Cfr. Decreto 21/06/2004 "Norme tecniche e procedurali per la classificazione di resistenza al fuoco ed omologazione di parte ed altri elementi di chiusura"

Capitolo 4. Ipotesi di partizione interna verticale

UNI ENV 1991-2-2 Eurocodice 1 "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-2: Azioni sulle strutture - Azioni sulle strutture esposte al fuoco."

3. Cfr. D.M. 26/06/1984 "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi";

D. M. 03/09/2001 "Modifiche ed integrazioni al decreto 26 giugno 1984 concernente classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi";

D. M. 28/05/2002 Rettifica del decreto ministeriale 3 settembre 2001, concernente classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi"

4. Impedisce il passaggio di vapore
condensa all'interno della copertura. d'acqua per controllare il fenomeno della

Lo si adotta quando, in presenza di elemento termoisolante, si verificano le seguenti circostanze:

a)-presenza sopra l'elemento termoisolante di strato di tenuta all'aria (quaina con compito anche di tenuta all'acqua);

b)-presenza di vapore acqueo negli ambienti sottostanti ovvero adozione di elemento termoisolante sensibile all'umidità.

La barriera a vapore viene posta al disotto dell'elemento termoisolante, immediatamente sopra la struttura portante. (estratto da UNI 8178 - "Coperture - Analisi degli elementi e strati funzionali")

Tab. 4.2.2.1.1 Tabella riassuntiva dei Requisiti Tecnologici e Prestazioni dell'Isolamento Termico, Norma UNI 8289/8290, realizzata dal gruppo di ricerca del DICATA per le linee guida dell'edilizia sostenibile della Regione Campania, 2009.

Tabella Isolamento Termico, Requisiti Ambientali e Prestazioni - UNI 8289/8290

ESIGENZE	REQUISITI	SOTTOREQUISITI	PRESTAZIONI ¹	
Sicurezza	Sicurezza strutturale	Efficienza morfologica in relazione alle azioni statiche e dinamiche	-	
	Sicurezza in caso d'incendio	Evacuazione in caso di emergenza	-	
		Controllo del rischio di incendio	E' necessario prendere le dovute misure per evitare, il più possibile, la formazione di incendi e ridurne la propagazione.	
	Sicurezza agli agenti inquinanti e nocivi	Controllo della ventilazione (purezza dell'aria)	-	
	Sicurezza nell'impiego	Sicurezza contro le cadute	Innocuità di forma	-
			Agevole percorribilità	-
Protezione da azioni esterne			Sicurezza contro le intrusioni	-
Benessere	Benessere microclimatico	Controllo della temperatura dell'aria interna	L'isolante termico consente in estate ed in inverno il mantenimento di un livello ottimale di benessere termico.	
		Comfort invernale	In inverno, l'isolante consente la riduzione delle dispersioni termiche, mantenendo il calore interno.	
		Comfort estivo	In estate, l'isolante rappresenta una barriera ai fenomeni di surriscaldamento, garantendo temperature più basse all'interno dell'edificio.	
		Controllo dell'orientamento	L'isolante va posizionato con spessori maggiori sul lato nord	
	Benessere acustico	Efficienza morfologica e distributiva in rel. al rumore	Particolare attenzione va posta all'aspetto morfologico e distributivo del materiale isolante, sia in fase progettuale che in fase di messa in opera, onde evitare la propagazione di rumori esterni e/o interni.	
Benessere visivo	Controllo dell'illuminazione naturale	-		

	Benessere olfattivo	Controllo della ventilazione	-
Gestione	Resistenza agli agenti esterni e alle sollecitazioni di esercizio	Efficienza morfologica in rel. agli agenti esterni	-
	Manutenibilità e durevolezza	Efficienza morfologica in rel. alle sollecitazioni di esercizio	-
Fruibilità	Idoneità dimensionale	Costituzione e dimensionamento	Vedi scheda Isolamento Termico – Quadro Generale
	Accessibilità	Accessibilità a persone e cose	-
		Accessibilità a persone disabili	-
		Accessibilità ai mezzi di soccorso	-
	Funzionalità	Arredabilità	-
		Identificabilità	-
		Praticabilità	-
		Attrezzabilità	-
	Dotazione	Dotazione di attrezzature e arredi fissi	-
		Dotazione di impianti	Il materiale isolante deve essere messo in opera tenendo conto della presenza di eventuali elementi radianti dell'impianto di riscaldamento (a parete, a pavimento, a battiscopa) e altri sistemi impiantistici.
Flessibilità	Adattabilità nel tempo	-	
Integrabilità	Integrazione funzionale	-	-
	Integrazione dimensionale	-	-
Salvaguardia dell'ambiente	Controllo dell'inquinamento causato sull'ambiente esterno	-	-
	Risparmio energetico e ritenzione del calore	Efficienza morfologica in rel. allo sfruttamento dell'energia naturale	L'isolante assicura una buona percentuale di risparmio energetico grazie alla limitazione delle dispersioni termiche nonché alla protezione dal surriscaldamento estivo.
	Controllo del ciclo di riuso	-	-
Aspetto	Controllo delle finiture	-	-

Tab. 4.2.2.1.2_ Tabella riassuntiva dei Requisiti Ambientali e Prestazioni dell'Isolamento Termico, Norma UNI 8289/8290, realizzata dal gruppo di ricerca del DICATA per le linee guida dell'edilizia sostenibile della Regione Campania, 2009.

Gli isolanti possono classificarsi rispetto all'origine della materia prima con la quale vengono prodotti in naturali che comprendono minerali, vegetali, animali e sintetici.

Tabella Prestazioni degli isolanti a confronto

ISOLANTE		PRESTAZIONI DEI PRODOTTI DI MERCATO					
ORIGINE	MATERIALE	Dimensioni cm	Conducibilità termica (W/mk)	Permeabilità al vapore	Classe di infiam- mabilità	Costo €/mq	
		s	l	μ	l	§	
Naturale	minera- le	Argilla espansa		0,09-0,3	5-8	0	
		Fibra di legno mine- ralizzata	25-80	0,075-0,09	4-10	1	25
		Lana di roccia		0,035-0,04	1-2		20
		Pannelli di minerale espanso		0,045	5		15
		Perlite espansa		0,04-0,06	1-4	0	8 (s=20 mm)
		Pomice		0,1	2-4	0	
		Silicato di calcio		0,05-0,07	6		
		Vermiculite espansa		0,07	2-3	0	
		Vetro cellulare		0,038-0,05	1	0	
	vegetale	Canapa		0,04	1	2	
		Canna palustre		0,055	2	2	
		Cellulosa (riciclata)		0,037	1,5	1-2	6,6 (s 30 mm) - 13 (s 60 mm)
		Cocco		0,045	1-5	2	
		Kenaf		0,43	1-2		
		luta		0,05	1	1	
		Lino	max 20	0,04	1	2	
		Mais (PLA)		0,36	3,11	1	
		Pannelli in fibra di legno		0,035-0,04	5		4,5 (s 20 mm) - 9 (s 40 mm)
		Paglia		0,09			
	Sughero		0,04	5-18	2	6,4 (s 20 mm) - 13 (s 40 mm)	
	animale	Lana di pecora		0,045	1-2	2	13-20 (s 10 cm)
		Lana di pecora sarda		0,032-0,034	2,3-3,6		
	Sintetica	Isolamento sottovuoto VIP	1-1,5-2-2,5-3 3,5-4-4,5-5	0,02	infinito		86-99-110-127-144 170-194-216-242
		Lana di vetro		0,04	1	A2-s1, d0	
		Polistirolo espanso		0,035-0,04	20-100		15
		Polistirolo estruso		0,035-0,05	80-200		16
		Poliuretano		0,03	60		15
		Vetro cellulare*	2-3-4-	0,048	infinito	A1	56
XPS (rigide** in poli- stirene)		da 2 a 12	0,031	100-200	E	da 5 a 28	
EPS (Polistirolo du- ro*** fortemente espanso)	cm 10-20	0,035	ca. 60	E			

*Resistenza a compressione 8 Kg/cr

**Resistenza a compressione ≥ 300 kPa (al 10% di deformazione), Resistenza alla compressione a lungo termine 110 kPa (spess \geq 80 mm)

***Resistenza alla flessione (28 gg) ≥ 200 kPa, Resistenza alla trazione trasversale ≥ 150 kPa

Tab. 4.2.2.1.3_ Tabella realizzata dall'autore riassuntiva delle prestazioni dei prodotti isolanti presenti sul mercato.

Il mercato edilizio offre una ampia varietà di materiali isolanti, la scelta è determinata dallo scopo di destinazione e quindi dai requisiti da soddisfare e dalla preferenza dei progettisti e dei committenti, quindi dalle esigenze esplicite ed implicite.

Nel testo *L'isolamento termico dell'edificio, dal materiale alla messa in opera del prodotto* (di Ilaria Oberti, Luigi Paolino e Angela Silvia Pavesi (a cura di), Maggioli Editore, 2011) vengono considerati quattro criteri ambientali per orientare la scelta (*il consumo di risorse, le amissioni, i rifiuti, l'inquinamento degli ambienti interni*), che sono stati riassunti nelle tabelle che seguono.

Il consumo di risorse

Inorganici	Organici	
Sintetici e Naturali	Sintetici	Naturali
<p>Impatto contenuto poiché materie prime diffuse e abbondanti ma non rinnovabili</p> <p>Consumo energia molto elevato (maggiore per lane minerali e vetro cellulare, minore per gli espansi granulari, ridotto per la pomice)</p>	<p>Impatto elevato poiché materia prima è il petrolio</p> <p>Consumo energia non elevato</p>	<p>Ridotto impatto ambientale poiché materie prime rigenerabili, riciclate o scarti di lavorazione</p> <p>Consumo energia basso (maggiore per pannelli sughero espanso e pannelli con fibra di legno mineralizzata)</p>

Le emissioni

Inorganici	Organici	
Sintetici e Naturali	Sintetici	Naturali
Elevate	Elevate	Irrilevanti

I rifiuti

Inorganici	Organici	
Sintetici e Naturali	Sintetici	Naturali
Discariche ordinarie o per rifiuti di materiali edilizi (vermiculite, perlite e argilla espansa possono essere riutilizzate con la stessa funzione)	Rifiuti speciali o incenerimento	Compostaggio o incenerimento

L'inquinamento degli ambienti interni

Inorganici	Organici	
Sintetici e Naturali	Sintetici	Naturali
Modesta attività radioattiva	Emissioni di sostanze tossiche nel caso di incendio	Non emettono sostanze tossiche nell'aria

Tab. 4.2.2.1.4_ Tabelle riassuntive relative agli impatti degli isolanti rispetto ai quattro criteri ambientali tratti dal testo *L'isolamento termico dell'edificio, dal materiale alla messa in opera del prodotto*.

Dallo studio presentato e da molte altre ricerche emerge che gli isolanti organici naturali rispondono al meglio ai requisiti di ecosostenibilità e biocompatibilità in ogni fase del ciclo di vita, pertanto la scelta del pannello isolante da utilizzare nel progetto è stata effettuata tra questi prodotti.

4.2.2.2. *Isolante in lana di pecora*

Tra la vasta gamma di isolanti organici naturali è stato scelto di utilizzare per la proposta progettuale l'isolante in lana di pecora, adeguato sia per le pareti divisorie che per i cappotti interni. Esso è di origine animale poiché la fibra che utilizza deriva dalla tosatura annuale delle pecore e delle capre che risulta in eccesso rispetto alla domanda del mercato tessile. In questo modo la materia prima impiegata si pone al primo posto nel soddisfare gli obiettivi della sostenibilità, anche per sottrarla al suo destino, l'incenerimento che causerebbe l'emissione di CO₂ nell'ambiente.



Fig. 4.2.2.2.1_ Immagine della lana di pecora tratta dal sito <http://www.nordtex.it>

L'isolante in lana è utilizzato già da migliaia di anni dai nomadi e pastori all'interno delle abitazioni. Oltre alle doti di traspirabilità e coibenza, ha un elevato grado di igroscopicità perché è in grado di assorbire acqua fino al 33% del suo peso senza apparire umido e rilasciarla poi lentamente equilibrando in modo ottimale l'umidità relativa dell'aria. In più la lana è una materia prima rinnovabile e riciclabile la cui trasformazione in pannello isolante richiede un bassissimo bilancio energetico. Le fasi di lavorazione comprendono:

- il lavaggio con sapone e soda

- il trattamento a base di sali di boro per rafforzare e proteggere le fibre da parassiti (tarne ed acari)
- la pettinatura ed agugliatura per conferirle la dovuta resistenza meccanica.

Grazie alla sua particolare microstruttura la lana di pecora si propone come ottima e naturale alternativa alle fibre minerali per l'isolamento termico ed acustico. Nel seguito è riportata una scheda elaborata dal Centro Bioedile di Napoli che sintetizza le proprietà e le caratteristiche degli isolanti in lana.

Isolante in lana	
Proprietà	<ul style="list-style-type: none"> • <i>elastica e deformabile;</i> • <i>lega e neutralizza le particelle di polvere;</i> • <i>non produce fumi tossici e non cola in caso di incendio;</i> • <i>materiale rinnovabile e riciclabile con un consumo energetico quasi nullo;</i> • <i>materia prima rinnovabile;</i> • <i>materiale atossico, non danneggia la salute dell'uomo e dell'ambiente;</i> • <i>permeabile al vapore, permette una corretta traspirabilità delle strutture murarie su cui è applicata (pareti, tetto, ecc.);</i> • <i>ignifugata con i sali borici diventa, immarcescibile, antistatica, inattaccabile dagli insetti o batteri, inappetibile ai roditori;</i> • <i>difficilmente infiammabile Classe B2 (la sua infiammabilità può essere ridotta se trattata con i sali di boro);</i> • <i>la sua conducibilità termica (l) è pari a 0,033 Kcal/mh °C;</i> • <i>non produce inquinamento in nessuna fase di lavorazione, impiego, riciclaggio o smaltimento e può essere facilmente riutilizzabile;</i>
Caratteristiche tecniche	<p><i>Conducibilità termica.....0,35-0,45 Kcal/mh°C</i></p> <p><i>Assorbimento acustico.....alfaw = 1,00</i></p> <p><i>resistenza alla diffusione del vapore acqueo.....nu : 3</i></p> <p><i>Permeabilità del vapore acqueo.....delta : 0.233</i></p> <p><i>Odorositàsoddisfacente</i></p> <p><i>Reazione al fuoco.....Classe B2, autoestinguente</i></p> <p><i>Polvere al taglio.....nulla</i></p> <p><i>Resistenza al fuoco.....debolmente infiammabile e debolmente fumoso</i></p> <p><i>Durata nel tempo.....praticamente illimitata</i></p>

Tab. 4.2.2.2.1_ Tabelle delle proprietà e caratteristiche degli isolanti in lana di pecora elaborata dal Centro Bioedile di Napoli.

Tra i prodotti sul mercato c'è NATURTHERM WO, di cui sono riportate le informazioni e la scheda tecnica nel seguito.

Elastica e traspirante, è un'ottima fibra climatizzante sia contro il freddo che contro il caldo e possiede una notevole capacità igroscopica. La caratteristica peculiare della lana di pecora è infatti quella di essere idrorepellente e allo stesso tempo di assorbire l'umidità. Ciò significa che respinge l'acqua in forma liquida ma è anche in grado di assorbire il vapore acqueo fino al 33% del suo peso senza apparire umida, favorendo quindi una regolazione naturale dell'umidità all'interno delle abitazioni e riducendo il rischio di condensa con successivi danni alla struttura. Grazie alla particolare microstruttura la lana di pecora si propone quindi come un'ottima e naturale alternativa alle fibre minerali per l'isolamento termico ed acustico. In più la lana è una materia prima rinnovabile e riciclabile la cui trasformazione in pannello isolante richiede un bassissimo bilancio energetico. Per produrre NATURTHERM WO si utilizzano lane di tosa non adatte per essere trasformate in tessuti e filati. La lana di tosa viene lavata con sapone naturale e sottoposta a trattamento anti-tarmico ed è successivamente cardata e coesionata con il calore a 180°, passaggio che assicura anche la sterilizzazione del prodotto. NATURTHERM WO è un materiale isolante dalle eccellenti prestazioni termiche ed acustiche che grazie alle qualità intrinseche della lana e alla sua traspirabilità ha la capacità di filtrare e depurare l'aria rendendo salubri gli ambienti in cui viviamo.

Impieghi

Isolamento termico ed acustico in intercapedine di coperture, pareti interne ed esterne. Particolarmente indicato per costruzioni in legno. Adatto sia per nuove costruzioni che per ristrutturazioni, è fornito in diversi spessori e misure secondo l'esigenza applicativa.

Vantaggi

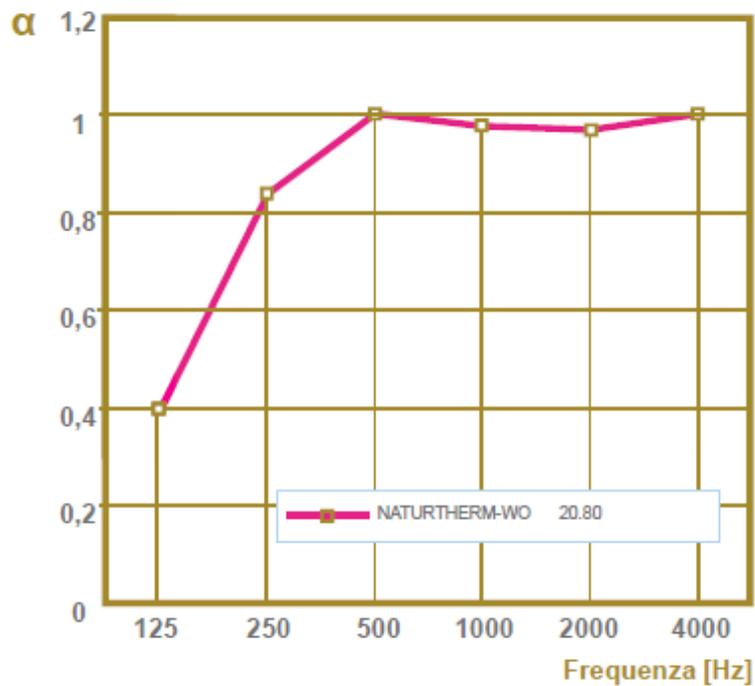
- *biocompatibile*
- *ottimo assorbimento acustico*
- *elevata traspirabilità*
- *inalterabilità nel tempo*
- *trattamento antitarma*

- *termoregolatore naturale*

Coefficiente di assorbimento acustico.
Misurato in camera riverberante (UNI EN 20534)

NATURTHERM-WO 20.80	
[Hz]	α
125	0,40
250	0,84
500	1,00
1000	0,99
2000	0,98
4000	1,00

Tab. 4.2.2.2.2_ Tabella coefficiente di assorbimento acustico del prodotto NATURTHERM WO tratta dalla scheda tecnica.



Tab. 4.2.2.2.3_ Grafico coefficiente di assorbimento acustico del prodotto NATURTHERM WO tratto dalla scheda tecnica

PARAMETRO	NORMA	RISULTATO	DENSITÀ E SPESSORI DI RIFERIMENTO	
Conduttività termica	UNI 7891	$\lambda = 0,042 \text{ W/mk}$	20 kg/m ³	50 mm
Coefficiente di assorbimento acustico	UNI EN ISO 20354	$\alpha_w = 0,80$	20 kg/m ³	80 mm
Resistenza alla diffusione del vapore Acqueo	UNI EN 12086	$\mu = 3,0$		
Permeabilità al vapore acqueo	UNI EN 12086	$\delta = 0,23$		
Potere calorifico inferiore	EN ISO 1716	23,45 MJ/Kg		
Certificato ecologico e tossicologico	Prodotto certificato Oeko Tex standard 100	Classe II RDP 071042.0		
Riciclabilità	-	100,00%		
Temperatura d'esercizio	-	- 40°C + 80°C		

Tab. 4.2.2.2.4_ Tabella prestazioni del prodotto NATURTHERM WO tratta dalla scheda tecnica.

Le proprietà assorbenti dei materiali sono quantificate attraverso il coefficiente di assorbimento acustico α , il quale è definito come rapporto tra la potenza sonora assorbita e la potenza sonora incidente. Il valore di α rappresenta quindi la frazione di energia sonora assorbita da un determinato materiale e può variare fra 0, nel caso in cui tutta l'energia incidente è riflessa, e 1, nel caso in cui tutta l'energia incidente è assorbita. Pertanto, se il valore di α è pari a 0,7 significa che il 70% dell'energia incidente sulla superficie del materiale è assorbita. Tuttavia, per un medesimo materiale il valore di α varia al variare delle frequenze e dell'angolo di incidenza dell'onda acustica⁵⁶.

⁵⁶ Assorbimento acustico, manuale teorico e pratico, metodi di miglioramento delle prestazioni acustiche degli edifici, (a cura di) Luciano Mattevi, Inquinamentoacustico.it

4.2.3 Pannelli di completamento

Il materiale biocomposito studiato si presta ad essere utilizzato come pannello di rivestimento per pareti interne poiché essendo processabile allo stesso modo della plastica può raggiungere svariate configurazioni formali con notevole potenziale estetico: pannelli tridimensionali di diverse dimensioni e colori assemblati a secco, e alcuni pezzi speciali atti ad accogliere al proprio interno elementi luminosi a luce fredda che figurano come fenditoie nel muro con lampade a scomparsa o con strip led nascosti. Nel seguito alcune disegni per visualizzare l'idea progettuale.

4.2.3.1 Idea progettuale



Fig.4.2.3.1.1_ Render realizzato dall'autore per visualizzare l'idea progettuale



Fig.4.2.3.1.2_ Render realizzato dall'autore per visualizzare l'idea progettuale



Fig.4.2.3.1.3_ Render realizzato dall'autore per visualizzare l'idea progettuale



Fig.4.2.3.1.4_ Render realizzato dall'autore per visualizzare l'idea progettuale

4.2.3.2 Componenti

L'assemblaggio dei pannelli di completamento (b) alla partizione interna studiata avviene mediante degli elementi di supporto (a).

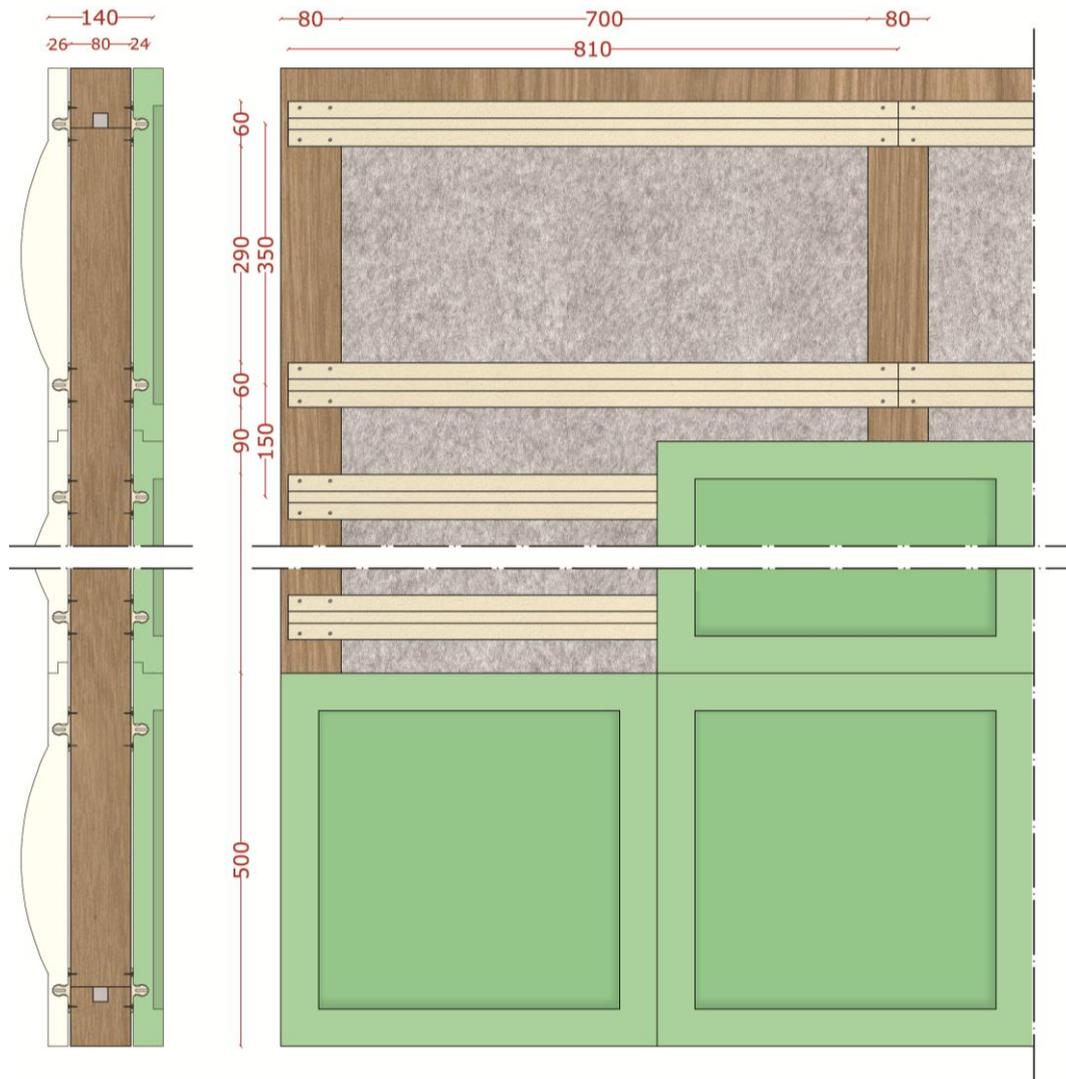


Fig.4.2.3.2.1_ Sezione e prospetto del sistema parete. Le misure sono espresse in millimetri.

a) Elementi di supporto

Gli elementi di supporto sono stati pensati per essere realizzati con lo stesso materiale biocomposito studiato. I profilati di altezza 6 cm e di lunghezza variabile possono essere prodotti o mediante processo di estrusione o di pultrusione (Par. 2.2.2.5). Il dettaglio della sezione è riportato nel disegno Fig.4.2.3.2.2. I profilati sono fissati al telaio in legno tramite viti. L'estremità è a sezione circolare con una scanalatura interna per consentire una flessibilità tale da permettere l'incastro e il disincastro del pannello di completamento (Fig.4.2.3.2.3). Ogni pannello sarà fissato alla parete tramite due profilati uno in basso e uno in alto.

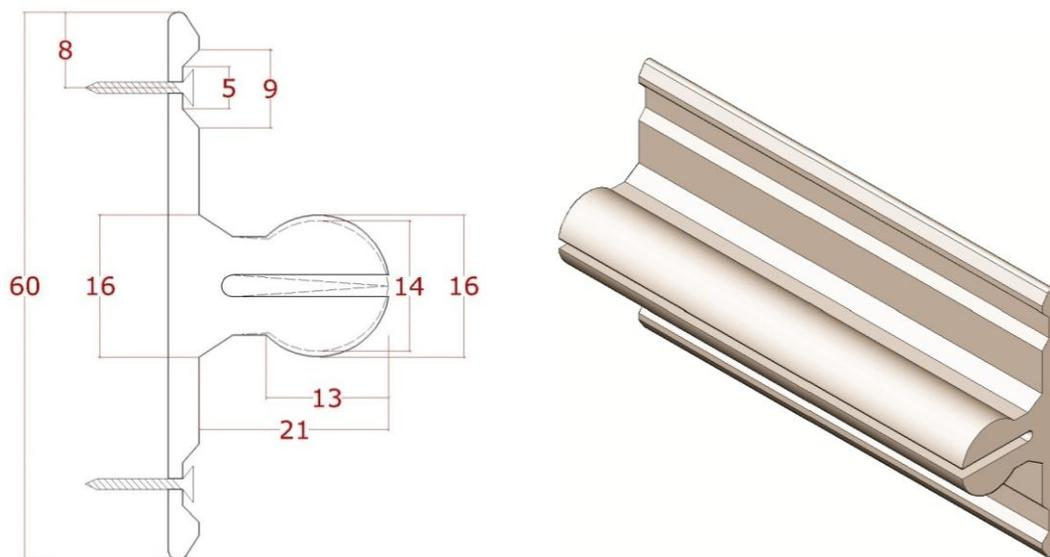


Fig.4.2.3.2.2_ Profilato di supporto. Particolare della sezione con misure espresse in millimetri e vista 3D.

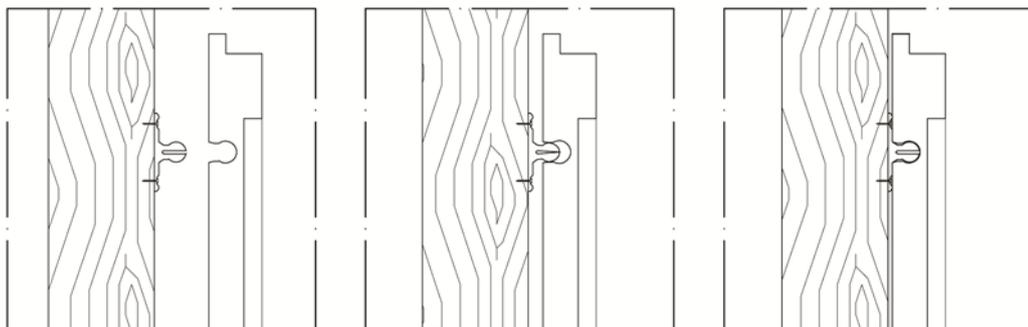


Fig.4.2.3.2.3_ Particolare incastro pannello-supporto.

b) Pannelli di completamento

I pannelli di completamento sono realizzati in materiale biocomposito e prodotti mediante estrusione e stampaggio a compressione. I pannelli presentano sulla faccia principale il decoro 3d, nel retro le scanalature atte ad accogliere i profilati di supporto fissati al telaio in legno e lateralmente delle alette per consentire la sovrapposizione con gli elementi contigui.

Si configurano così 4 tipi di pannello vedi Fig. 4.2.3.2.4-5

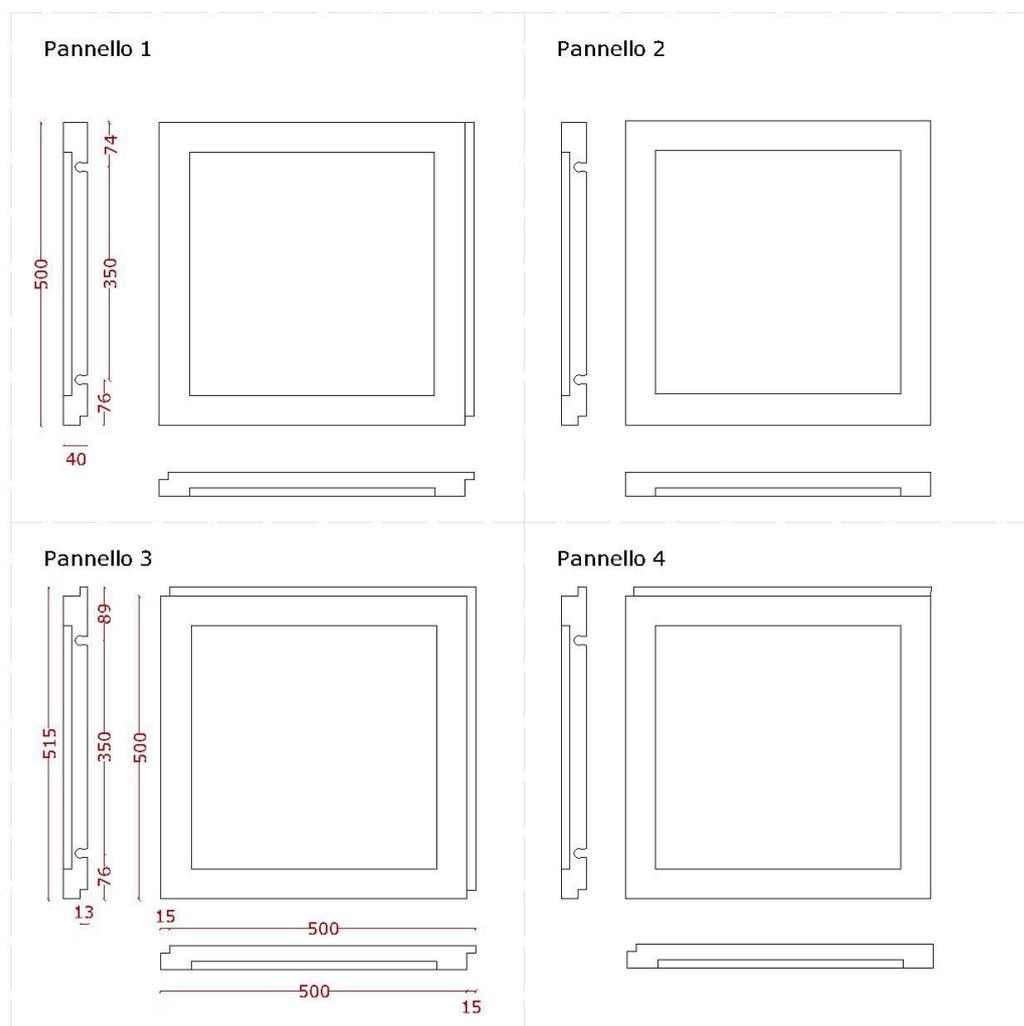


Fig.4.2.3.2.4_ Tipi di pannello in prospettiva, pianta e sezione. Le misure sono espresse in millimetri.

Posizionamento dei pannelli come da Fig.4.2.3.2.5:

- pannello 1: nella fila superiore della parete eccetto nell'angolo a destra,
- pannello 2: nell'angolo in alto a destra,
- pannello 3: su tutta la parete eccetto nella fila a destra e quella in alto
- pannello 4: nella fila a destra.

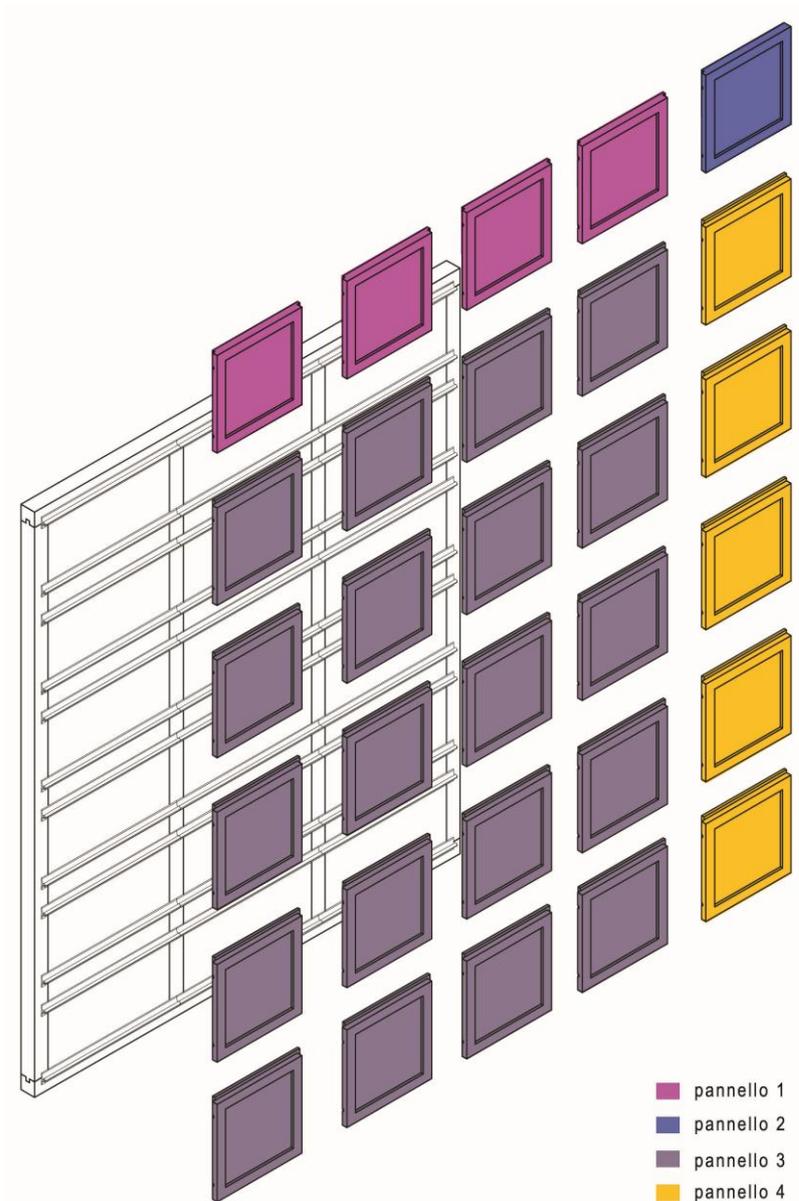


Fig.4.2.3.2.5_ Esempio di posizionamento dei pannelli.

4.2.3.3 Fasi di montaggio

Il montaggio dei pannelli avviene dal basso verso l'alto, da sinistra verso destra.

Le fasi di montaggio del sistema sono:

1) Messa in opera del telaio in legno come da istruzioni nel **Paragrafo 4.2.1.2.**

2) Avvitamento dei profilati in biocomposito ai montanti della struttura in legno. Per un pannello come da disegno (dimensioni 50x50 cm) il primo profilato viene montato ad una altezza di 4,5 cm da terra, l'interasse tra i due profilati di una medesima fila è di 35 cm, l'interasse tra il profilato superiore della prima fila e quello inferiore della seconda è di 15 cm. Le dimensioni e le distanze possono variare a seconda delle esigenze derivanti dal disegno.

3) Incastro del primo pannello in basso a sinistra della parete

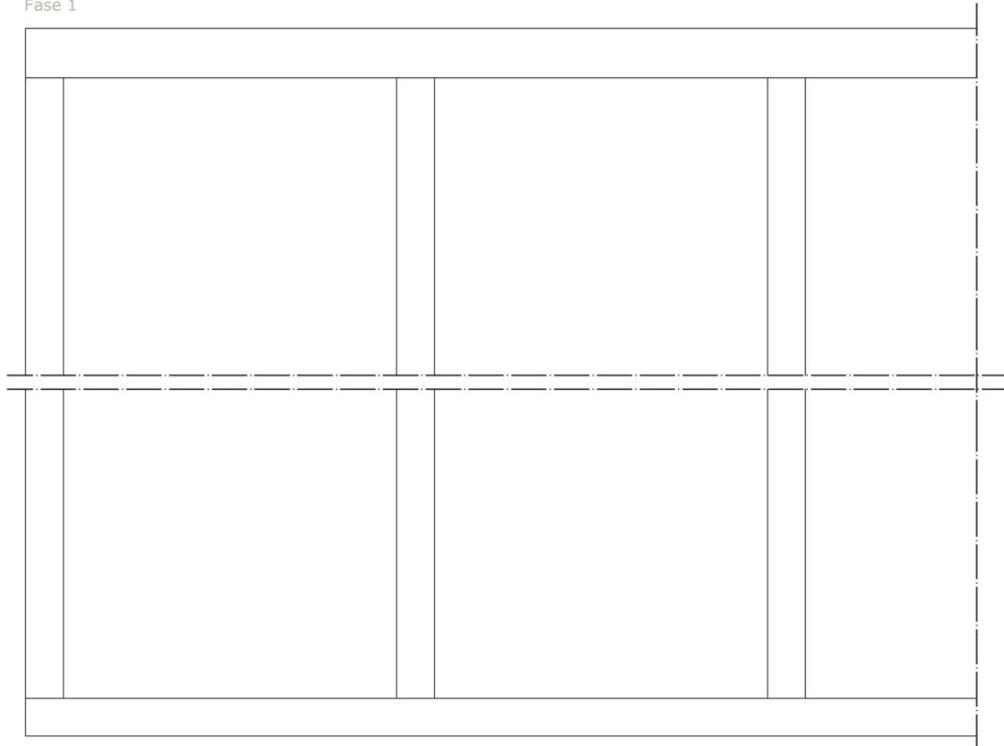
4) Si procede da sinistra verso destra incastrando anche gli altri pannelli della prima fila.

5) Ultimata la prima fila si passa alla seconda sempre da sinistra verso destra e così via fino a completamento.

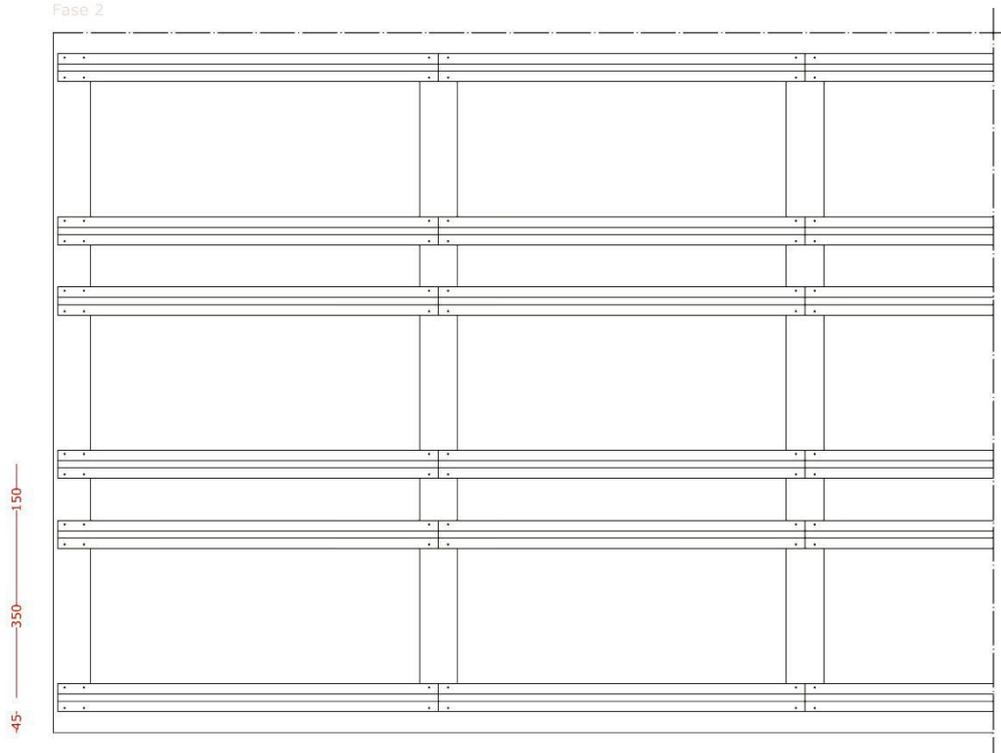
Nelle operazioni di montaggio è da tenere in conto che i pannelli sono differenti tra loro così come illustrato nelle **Fig.4.2.3.2.4-5.**

Capitolo 4. Ipotesi di partizione interna verticale

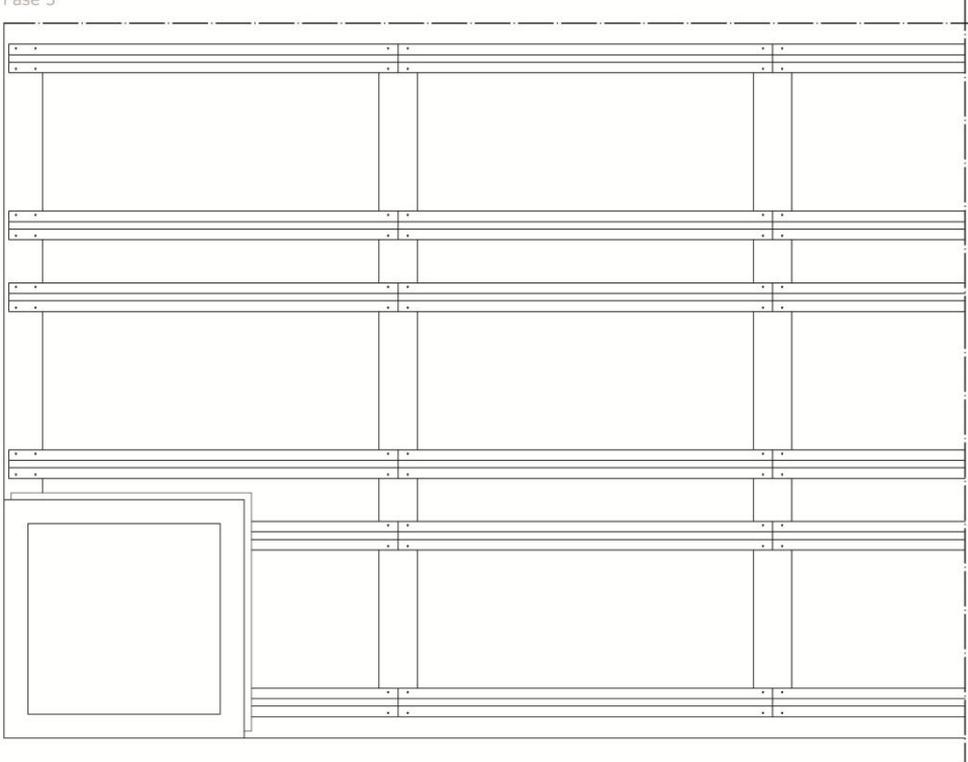
Fase 1



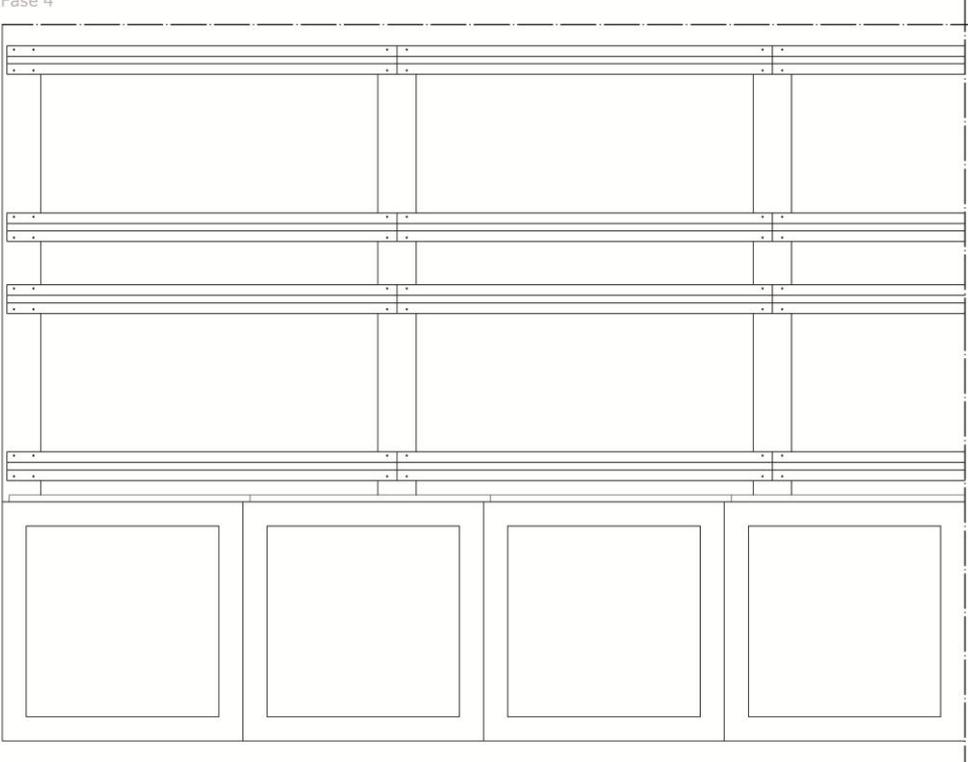
Fase 2



Fase 3



Fase 4



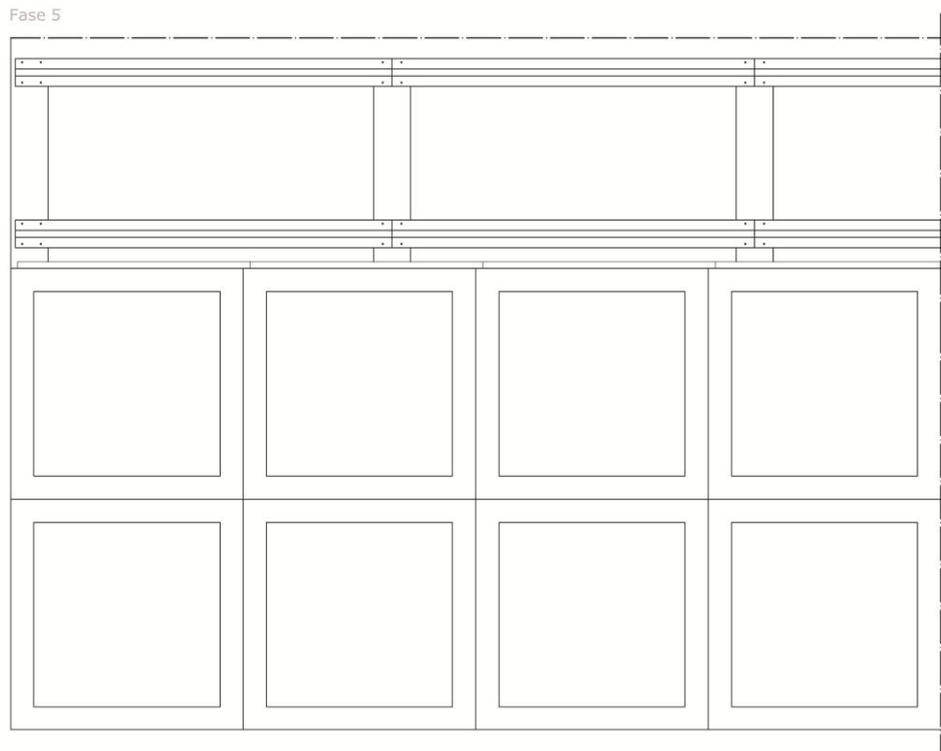


Fig.4.2.3.2.6_ Fasi di montaggio degli elementi di completamento.

4.3 I risultati: prestazioni e possibili applicazioni

Classi di unità tecnologiche: Partizione interna			
Unità tecnologica: Partizione interna verticale			
Classi di elementi tecnici: Muri divisorii			
Elemento tecnico: Partizione interna verticale in biocomposito			
Esigenze		Requisiti	
Sicurezza		Resistenza agli urti	✓
		Resistenza alle intrusioni	✓
		Affidabilità	✓
Benessere		Isolamento termo acustico	✓
		Assorbimento dei suoni interni	✓
Fruibilità		Transitabilità	✓
		Manovrabilità	✓
Aspetto		Regolarità d'aspetto	✓
Gestione		Pulibilità	✓
		Durabilità	✓
Integrabilità		Integrabilità degli elementi tecnici di produzione diversa	✓
		Attrezzabilità	✓
Salvaguardia dell'ambiente	Uso sostenibile delle risorse naturali	Materie prime e secondarie ecologicamente compatibili	✓
	Trasformazione sostenibile delle risorse	Materie prime e secondarie trasformate con un processo ecologicamente compatibile	✓
	Controllo dell'inquinamento causato sull'ambiente esterno	Biodegradabilità dei materiali	✓
		Atossicità dei materiali	✓
	Controllo del ciclo di riuso	Recuperabilità (reimpiegabile/riutilizzabile/riciclabile)	✓ ✓ ✓

		Smontabilità	✓
		Separabilità delle componenti	✓
		Omogeneità delle componenti	

Tab.4.3.1_ Tabella riassuntiva delle prestazioni della partizione interna verticale studiata.

- **Tutela e salvaguardia dell'ambiente**

Il sistema è stato progettato per rispondere ai requisiti di salvaguardia degli ecosistemi. Il fine ultimo è un prodotto che a fine vita non rappresenti un carico per l'ambiente. Per questo motivo risulta essere smontabile, i componenti sono separabili tra loro con la possibilità di essere reimpiegati (Fig.4.3.1).

I materiali utilizzati sono stati scelti perché a fine vita possono essere riciclati o sottoposti a processo di compostaggio. Rispondono a pieno alla definizione di Sustainable Performance Materials poiché *garantiscono, in primo luogo, un ciclo di vita chiuso del prodotto e che, inoltre, risultano vantaggiosi in termini di produzione, lavorabilità, disassemblaggio, riuso, sostenibilità e protezione dell'ambiente*⁵⁷.

- **Isolamento termo acustico**

La partizione interna così progettata⁵⁸ garantisce una trasmittanza termica unitaria di 0,4 W/mqK che la rende idonea ad essere utilizzata anche come parete di confine con locali non riscaldati. La normativa vigente nazionale (dpr 59 del 2009) prevede un valore minimo di trasmittanza di 0,8 W/MqK tra due unità immobiliari confinanti per evitare i cosiddetti "furti di calore".

⁵⁷ La classificazione proposta dal gruppo di studio del Berlage Institute.

⁵⁸ Stratificazione dall'interno verso l'esterno: pannello biocomposito 2 cm conduttività termica 0,81 W/mK; isolante in lana di pecora spessore 8 cm conduttività termica 0,042 W/mK; ultimo strato essendo verso un locale esterno si considera in cartongesso spessore 1 cm conduttività termica 0,210 W/mK.

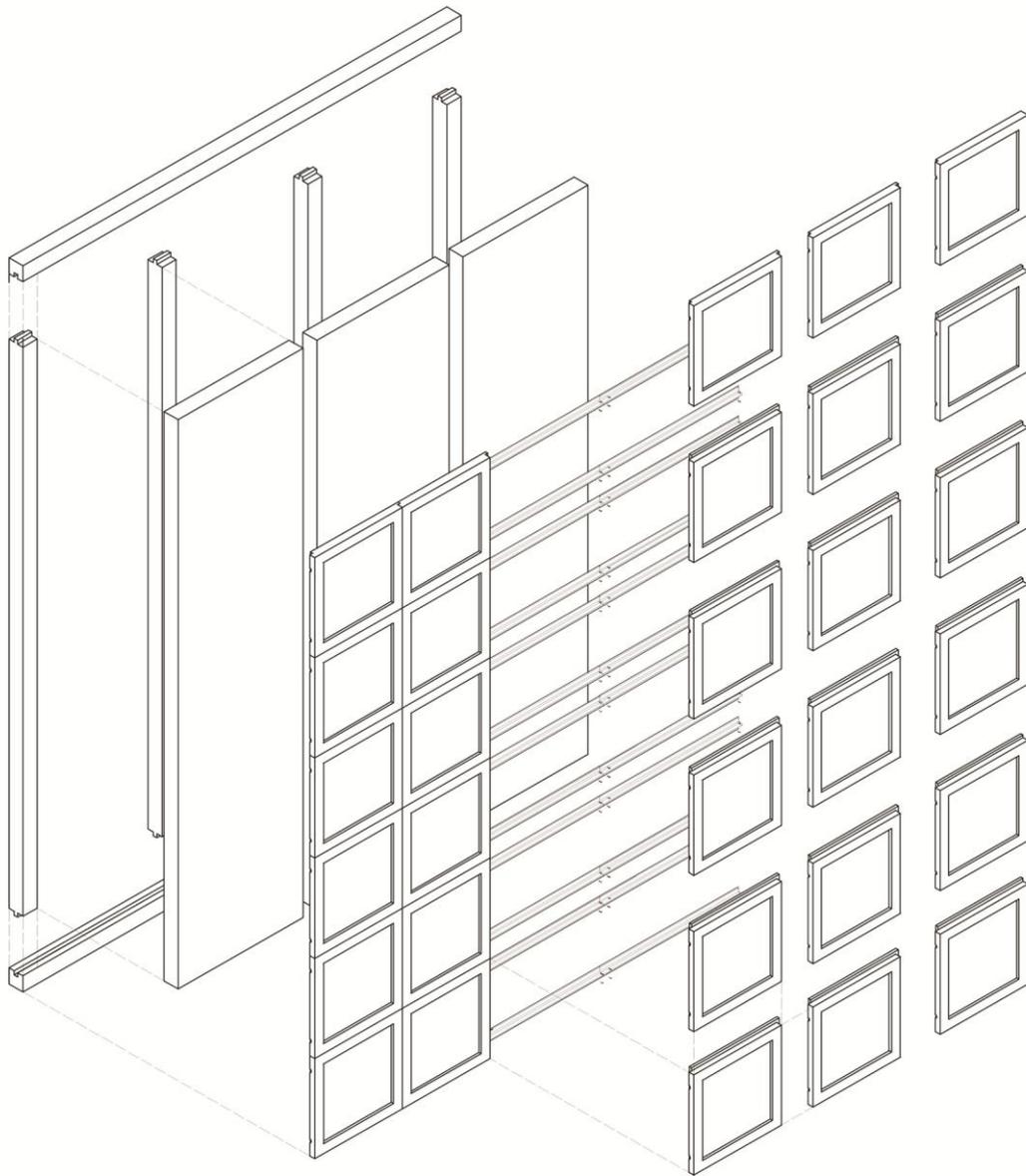


Fig.4.3.1_ Dall'esploso assonometrico si evince che il sistema è costruito a secco in ogni sua parte quindi è smontabile, i componenti sono separabili tra loro con la possibilità di essere reimpiegati, riciclati o compostati.

Anche dal punto di vista dell'assorbimento acustico⁵⁹ il sistema offre buone prestazioni prima di tutto perché, come è noto, è importante la forma del materiale di rivestimento, in quanto può offrire una più estesa superficie di contatto con l'onda incidente, favorendo la dissipazione di una maggiore quantità di energia sonora. Con il materiale biocomposito studiato si possono ottenere infinite forme tridimensionali superficiali. La soluzione più diffusa e che potrebbe essere adottata nei casi necessari, è quella in cui un lato del materiale è ricoperto da protuberanze a forma piramidale.

Inoltre il sistema accoglie al suo interno l'isolante in lana che offre buone caratteristiche di assorbimento acustico, con un coefficiente di circa 0,8 α per lo spessore considerato di 8 cm (Par. 4.2.2.2, Tab. 4.2.2.2-3-4).

- **Possibili applicazioni**

Il sistema può essere utilizzato negli edifici di nuova costruzione e in edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione come nuova partizione interna tra gli ambienti.

Inoltre il sistema di rivestimento con pannelli in biocomposito può essere utilizzato anche su pareti esistenti.

Nel caso sia una scelta esclusivamente estetica è possibile l'installazione dei profilati di supporto direttamente a parete e su questi il montaggio dei pannelli di completamento (Fig.4.3.2).

Ma nel caso in cui è necessario aumentare le prestazioni termiche o acustiche della parete esistente è possibile montare in aderenza a questa il sistema di montanti e traversi in legno, anche di spessore inferiore rispetto a quello proposto, che andrà ad accogliere i pannelli isolanti più appropriati per il problema riscontrato. Su tale supporto si procederà poi all'installazione dei profilati e dei pannelli. In questo modo il sistema si configura come controparete interna (Fig.4.3.3).

⁵⁹ La normativa vigente nazionale (d.p.c.m. 5/12/97) definisce il limite minimo di fonoisolamento apparente R_w a seconda degli ambienti abitativi classificati, suddividendo le destinazioni d'uso delle unità immobiliari in 7 categorie. Gli edifici abitati a residenze fanno parte della categoria A con $R_w=50$.



Fig.4.3.2_ I pannelli in biocomposito possono essere utilizzati come rivestimento di una parete esistente tramite l'installazione dei profilati di supporto direttamente a parete e su questi il montaggio dei pannelli di completamento.



Fig.4.3.3_ Il sistema proposto può essere utilizzato come nuova partizione interna tra gli ambienti di una stessa casa, come divisorio verso ambienti non riscaldati, ma anche come controparete negli interventi di retrofit energetico o di isolamento acustico montandolo in aderenza alla parete esistente.

Conclusioni

L'obiettivo fissato per la ricerca in oggetto, come detto, è stato quello di indagare le potenzialità di applicazione dei materiali biocompositi, in un comparto dai grandi numeri come quello dell'edilizia. Le ottime caratteristiche riscontrate di resistenza meccanica, assorbimento acustico, stabilità dimensionale, leggerezza, isolamento termico, e soprattutto la possibilità di produrli da risorse rinnovabili e di renderli biodegradabili, li configurano come materiali su cui puntare nell'era della green economy.

La prima fase della ricerca che corrisponde allo studio teorico sul tema dell'applicazione e dello sviluppo dei biocompositi attraverso esempi di prodotti e sperimentazioni in atto in tutto il mondo intende fornire al progettista architetto gli strumenti per poter dialogare con i progettisti della materia permettendogli di collaborare all'ideazione di nuovi materiali al fine di innescare un processo multidisciplinare. Infatti, in un'epoca in cui i materiali sono a *complessità gestita*⁶⁰ sarebbe auspicabile progettarli a partire dalle prestazioni richieste per il prodotto ma anche e soprattutto in base ai requisiti ambientali prioritari.

La seconda e la terza fase della ricerca che approfondiscono il caso studio mirano ad individuare i principi di sostenibilità ed i requisiti prioritari per la salvaguardia ambientale in base a cui scegliere sia i materiali da utilizzare nei progetti che le tecniche costruttive da adoperare nella messa in opera. L'applicazione scelta per il materiale biocomposito studiato⁶¹ come elemento di completamento di una partizione interna verticale per l'edilizia abitativa è solo una delle tante possibili. Essa è stata individuata poiché la dismissione delle tramezzature interne comporta alti carichi di rifiuti sull'ambiente principalmente derivanti dalle ristrutturazioni degli appartamenti. La maggior parte dei materiali utilizzati, infatti, non risulta riciclabile né tantomeno biodegradabile. Inoltre in Italia nemmeno la messa in opera a secco è molto diffusa nella pratica edilizia. Il sistema proposto essendo completamente smontabile offre la possibilità di reimpiegare i suoi componenti per altri utilizzi e riciclare o sottoporre a processo di compostaggio i materiali a fine vita.

Un ulteriore sviluppo della sperimentazione in chiave eco-orientata si potrebbe avere sostituendo la percentuale di polimero sintetico contenuta nel biocom-

⁶⁰ *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, Manzini E., Edizioni Domus Academy, Milano, 1990.

⁶¹ Sviluppato dal gruppo di ricerca, composto da E.Gallo, B.Schartel, D.Acierno, F.Cimino, P.Russo, del Dipartimento di Ingegneria di Napoli partendo dalla tesi di dottorato dell'arch. Phd. Francesca Cimino, relatore Prof. Domenico Acierno, tutor Prof. Cosimo Carfagna.

posito studiato con uno proveniente da fonte rinnovabile che garantisca però le stesse caratteristiche.

Approfondendo le indagini e le sperimentazioni sull'infiammabilità del materiale, inoltre, altre applicazioni potrebbero essere individuate per i materiali biocompositi nel settore dell'edilizia pubblica, ad esempio scolastica o museale. Oggi un museo delle scienze, ad esempio, ha necessità di rinnovarsi costantemente e di proporre un'offerta didattica innovativa attraverso installazioni interattive e scenografiche. Un materiale che sia plasmabile ma allo stesso tempo sostenibile può sicuramente aiutare, insieme alle tecnologie digitali, un settore che tende a rapida obsolescenza come questo.

Bibliografia

- *Nuovi paesaggi matrici, design e tecnologia dei materiali*, C. Langella, 2003, Perugia, Alinea editrice.
- *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, Manzini E., Edizioni Domus Academy, Milano, 1990.
- *Verso un'ecologia della mente*, Bateson G., Adelphi, Milano 1976
- *Le nuove radici antiche. Saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, G. Nardi, 1990, Franco Angeli.
- *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, A. Campioli, 1993, Franco Angeli.
- *Oltre la crescita: l'economia dello sviluppo sostenibile*, Daly H.E., Edizioni di Comunità, Milano, 2001.
- Bruntland G.H. (a cura di), *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*, WCED, New York, 2007.
- *Eco-efficienza. Metodologie, strumenti casi di successo*, Di Cristofaro E., Trucco P. (a cura di), Guerini e Associati, Milano, 2002.
- *Emergenza Ambiente*, V. Gangemi (a cura di), 2001.
- *Innovazione nella ricerca, la sfida e l'attività in corso*, Materiali del IV Seminario OSDOTTA, ed. Orio De Paoli e Elena Montacchini, Firenze 2009.
- *L'impronta ecologica*, Wackernagel M., Rees W., Edizioni Ambiente, Milano, 1998.
- *Life Cycle Assessment in edilizia*, Lavagna M., Hoepli, Milano, 2008.
- *La gestione dei rifiuti nei cantieri edili. Obblighi e sanzioni*, Enzo Pelosi, 2012, Maggioli Editore.
- *Dalla culla alla culla*, W. McDonough e M. Braungart, ed. italiana ottobre 2003, Blu edizioni.
- *Lo sviluppo di prodotti sostenibili, i requisiti ambientali dei prodotti industriali*, Ezio Manzini, Carlo Vezzoli, 1998, Maggioli Editore.
- *La produzione industriale eco-orientata per l'edilizia*, A. Passaro (a cura di), Atti 2007, Luciano Editore.
- *Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità*, J. Gaspari, D. Trabucco, Giovanni Zannoni, Franco Angeli, Milano, 2010.
- *Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces*, Paul A Fowler, J Mark Hughes and Robert M Elias.
- *Fiber Reinforced Plastics. Utilizzo dei materiali compositi a matrice polimerica in edilizia civile*, Minguzzi G., Alinea Editore, 1999.

- *Composites reinforced with cellulose based fibres*, A.K. Bledzki, J. Gassan, Università (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo¨nchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany 1998.
- *Progress in Polymer Science*, L. Yu, K. Dean, L. Lin, 2006, 31, 576.
- *Green Polymeric Blends and Composites from Renewable Resources*, Long Yu, Steven Petinakis, Katherine Dean, Alex Bilyk, Dongyang Wu.
- *Composites reinforced with cellulose based fibres*, A.K. Bledzki, J. Gassan, Università (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo¨nchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany 1998.
- *All natural composite sandwich beams for structural applications*, M.A. Dweiba, B. Huo, A. O'Donnell, H.W. Shenton, R.P. Wool, (a) ACRES Group, Department of Chemical Engineering and Center for Composite Materials, University of Delaware, Newark, DE 19716-3144, USA, (b) Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA.
- *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites* Shinji Ochi, Department of Mechanical Engineering, Miyagi National College of Technology, Natori 981-1239, Japan, 2007.
- *Press forming of short natural fiber-reinforced biodegradable resin. Effects of fiber volume and length on flexural properties*, Shinichi Shibata, Yong Cao, Isao Fukumoto, Department of Mechanical Systems Engineering, University of the Ryukyus, Okinawa 903-0213, Japan, 2005.
- *Thermoplastic Biopolyester Natural Fiber Composites* R. A. Shanks, A. Hodzic, S. Wong, CRC for Polymers, Applied Chemistry, RMIT University, Melbourne, Australia.
- *Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher, and Environmentally Friendly* Sergio Neves Monteiro, Felipe Perissé D. Lopes, Ailton Silva Ferreira, and Denise Cristina O. Nascimento.
- Anon, BIOFIBER Wheat. [Online]. Available: <http://www.environmentalcomposites.com/biofiber.php> [1 November 2005].
- *Composites reinforced with cellulose based fibres*, A.K. Bledzki, J. Gassan*, Università (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo¨nchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany 1998.
- *La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria*, Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini.
- *Biodegradable Foams*, Salvatore Cotugno, Ernesto Di Maio, Salvatore Iannace, Giuseppe Mensitieri, Luigi Nicolais.
- *Materiali innovativi per l'edilizia*, (a cura di) Giovanni Franconi e Susanna Paoni - Umbria Innovazione s.c.a.r.l
- Interni
- *Preparazione di compositi rinforzati con fibre naturali destinati ad applicazioni nell'edilizia ecosostenibile*, Tesi di dottorato in ingegneria dei materiali e delle strutture di Francesca Cimino, relatore: Prof. Domenico Acierno, tutor: Prof. Cosimo Carfagna, 2009.

Bibliografia

- *Bioarchitettura: l'innovazione con compositi eco-compatibili*, Francesca Cimino, Cosimo Carfagna, Domenico Acierno, Paola Persico, 22-27, Rassegna ANIAI 4/2011.
- *Tailoring the flame retardant and mechanical performances of natural fiber-reinforced biopolymer by multi-component laminate*, E.Gallo, B.Schartel, D.Acierno, F.Cimino, P.Russo in *Composites*, 112-119, 2013.
- *Costruzione e uso della terra*, Maria Cristina Forlani (a cura di), Maggioli Editore, Rimini, 2001.
- A.A.V.V., *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, Hoepli, Milano, 1995.
- *Materiali e tecnologie dell'architettura*. M. C. Torricelli, R. Del Nord, P. Felli, Editori Laterza, 2005.
- *L'isolamento termico dell'edificio, dal materiale alla messa in opera del prodotto* (di Ilaria Oberti, Luigi Paolino e Angela Silvia Pavesi (a cura di), Maggioli Editore, 2011.