

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA (XXII CICLO)

IN

INGEGNERIA DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE

“Preparazione di compositi rinforzati con fibre naturali destinati ad applicazioni nell’edilizia ecosostenibile”

Relatore:
Prof. Domenico Acierno
Tutor:
Prof. Cosimo Carfagna

Candidata:
Francesca Cimino

a.a. 2006-2009

Al termine della mia tesi di dottorato provo infinita gratitudine per chi mi ha sempre sostenuta, incoraggiata, consigliata nel realizzare un progetto ambizioso che fonde competenze in più discipline: *architettura, ingegneria, chimica*.

Primi fra tutti i Professori Domenico Acierno e Cosimo Carfagna, che non mi hanno mai fatto mancare illuminanti suggerimenti e massimo sostegno, nei momenti critici quando, da architetto, mi sentivo impegnata in un progetto troppo ambizioso.

I risultati a mio avviso molto positivi, sono stati raggiunti grazie al determinante sostegno della Dr.ssa Paola Persico, che con la sua professionalità e profonda conoscenza della materia ha saputo guidarmi in modo eccellente in questo percorso di lavoro.

Ricordando che il successo individuale è ottenuto grazie al contributo spesso ignorato di tante persone, voglio ringraziare quanti nel Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione e nell'Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri (ICTP) mi hanno accolta con amicizia ed affetto aiutandomi con competenza e professionalità a realizzare il mio lavoro di tesi.

In particolare vorrei ringraziare l'Ing. Adolfo Izzo Renzi per l'aiuto ricevuto nel effettuare le prove con la Termocamera ad infrarossi, il Dr. Vincenzo Di Lello ed il Dr. Mario Abbate per la professionalità e la pazienza

con cui hanno saputo aiutarmi nello svolgere le prove meccaniche sui campioni.

INDICE

Capitolo I:

Introduzione pag. 5

Capitolo II:

Materiali e metodi di caratterizzazione pag 51

Capitolo III:

Parte sperimentale e preparazione dei campioni pag 55

Capitolo IV:

Risultati e discussione sui compositi termoindurenti pag 60

Capitolo V:

Risultati e discussione sui compositi termoplastici pag 70

Capitolo VI:

Applicazioni pag 87

Capitolo VII:

Conclusioni pag 100

Bibliografia pag 106

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

OBIETTIVO DEL LAVORO DI TESI



Maestro e fondatore dell'Architettura Organica (1867-1959)

*... l'architetto artista sarà un uomo ispirato dall'amore per la Natura,
e conoscerà che non l'uomo è fatto per l'architettura, ma l'architettura per l'uomo .
Non vedrà mai nel mestiere dell'architetto un affare,
ma sempre una religione,
fondamentale per il benessere e la cultura dell'umanità,
come, al suo supremo livello è sempre stata.
... e dobbiamo riconoscere l'architetto creativo, come poeta e interprete della
vita ...*

Frank Lloyd Wright

Nel panorama europeo dell'architettura contemporanea, le problematiche legate all'ottimizzazione delle risorse stanno acquisendo progressivamente spazio.

Tra la fine degli anni '60 e '70, parallelamente all'affermazione del movimento ecologista internazionale, si è istituito nel tempo un nuovo orientamento a carattere multidisciplinare che ha avviato in maniera pionieristica un diverso approccio alle problematiche del costruito.

La Bioarchitettura è l'insieme di conoscenze che consentono di progettare edifici funzionali ma allo stesso tempo compatibili dal punto di vista ecologico con l'ambiente e con la vita dell'uomo.

Il termine *Bioarchitettura* deriva da una traduzione della parola tedesca *Baubiologie* (Bau = edilizia, edificio; Biologie = biologia).

Quest'ultima nacque in Germania a partire dagli anni '60, insieme all'ambientalismo e all'agricoltura biologica, come movimento ecologista costituito da consumatori che vogliono difendere l'uomo dall'insalubrità degli edifici e dell'ambiente.

In Germania alla fine degli anni '70, in seguito alla crisi energetica mondiale del 1973, sulla spinta dei movimenti ecologisti, si comincia a pensare all'utilizzo dell'energia solare nelle abitazioni. Si comprende come ogni singolo edificio, ogni singola abitazione divorino enormi quantità di energia contribuendo notevolmente all'inquinamento atmosferico.

In Italia il termine *Baubiologie* passa per il Brennero e diventa Bioarchitettura.

Nel nostro Paese l'argomento ha cominciato ad essere trattato da tecnici del settore a partire dagli anni '80 con la presa di coscienza della necessità di una progettazione e di un'urbanistica rispettosa dell'equilibrio tra uomo, ambiente e salute.

È indubbio che l'enorme consumo di risorse ed energia non è compatibile con uno sviluppo sostenibile futuro e il progettista ora più che mai è responsabile di scelte che ricadranno sull'ambiente, sull'uomo e sulle generazioni future.

Gli argomenti di studio che riguardano la Bioarchitettura sono molteplici:

- ◆ **l'aspetto ecologico dei materiali** in rapporto alle risorse disponibili, al carico energetico in fase produttiva e alle ripercussioni sull'ambiente;
- ◆ **l'aspetto progettuale** e cioè l'orientamento dell'edificio in relazione al microclima del luogo,
- ◆ **l'aspetto energetico dell'edificio:** l'utilizzo dell'energia solare, la riduzione delle dispersioni termiche, la riduzione degli sprechi idrici;
- ◆ **l'aspetto della salute dell'uomo**, dell'inquinamento indoor legato *al tipo di arredamento*, alla finitura, ai collanti, ai solventi utilizzati.

La Bioarchitettura non è un nuovo modello formale ma piuttosto una cultura progettuale frutto di un costante lavoro di studio e di approfondimento.

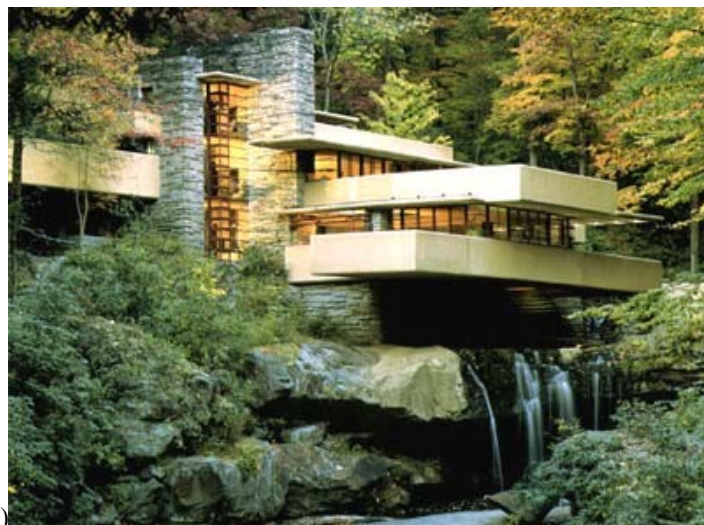
L'aspetto formale in Bioarchitettura non è prefissato e non è frutto di uno stile. Fonti di ispirazione sono sicuramente l'architettura organica¹, l'architettura bioclimatica, l'ecologia ma la cosa più interessante in Bioarchitettura è la convergenza di più discipline al fine di ampliare l'approccio e la soluzione dei problemi della città, dell'ambiente, dell'abitazione (considerando per essa la progettazione dell'involucro esterno e dell'arredamento interno).

Molti sono gli esempi in Europa, soprattutto in Svezia e Germania, ma anche in Italia crescono di giorno in giorno iniziative volte a fare conoscere la possibilità di costruire secondo criteri più attenti all'ambiente, al contenimento dei costi e alla salute dell'uomo.

Oggi nell'approccio progettuale è dunque necessario analizzare il comportamento di un edificio, in termini di prestazioni energetiche ed effetti ambientali, prendendo in forte

¹ *“Per Architettura Organica, io intendo un'architettura che si sviluppi dall'interno all'esterno, in armonia con le condizioni del suo essere, distinta da un'architettura che venga applicata dall'esterno.” [1]*
Frank Lloyd Wright

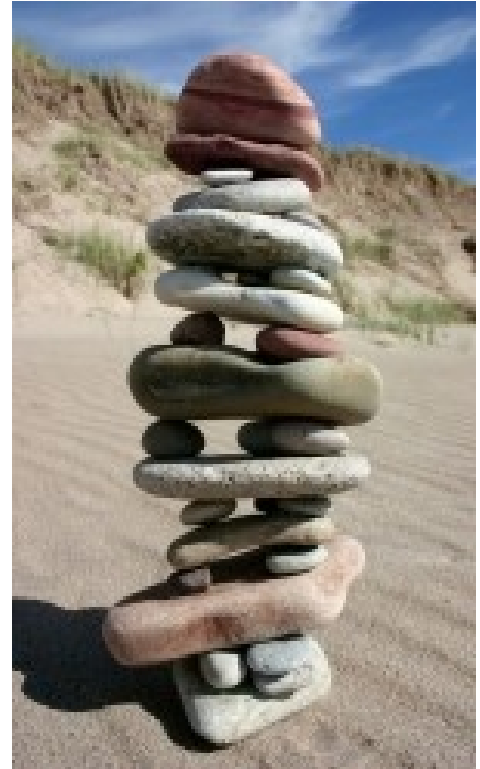
(For the Cause of Architecture , The Architectural Record , may 1914)



Fallingwater (1935)

considerazione attività fino ad oggi trascurate come la produzione, la demolizione ed il riciclaggio.

Intorno agli anni '60, emergeva il tema della conservazione dell'immagine della città, delle materie, delle forme e dei volumi, anche attraverso l'attenzione alle trame, alle tessiture, che concorrono a definire l'identità dei luoghi, dunque un architettura orientata verso *“un'immortalità”* dei materiali e delle strutture. Tale riferimento abbastanza convenzionale, oggi, dovrebbe essere superato ed ampliato.



Non è, dunque, più possibile operare con le sole forme, o volumi o materia, occorre far riferimento a sistemi diversi, ed utilizzare l'ecologia come paradigma fondamentale per coniugare il mondo dell'artificiale con il mondo del naturale, dal momento che il mondo del naturale è fondato su risorse, processi ed elementi estremamente dinamici, che hanno una loro ciclicità e una loro forma di permanenza che *non è* quella degli oggetti *materici*, che ritroviamo in un luogo, sempre uguali a loro stessi.

L'individuazione del ciclo di vita di un prodotto, sia che venga attribuito al campo dell'architettura sia a quello del disegno industriale, spalanca le porte ad una visione che potremmo definire “consumo controllato” in quanto viene reinterpretato, in chiave ecologica, il tema tradizionale della continuità della produzione, regola base del mondo produttivo.

Questa interpretazione dell'architettura non deve essere considerata semplicistica, ma orientata verso una cultura del progetto più sensibile, verso la metamorfosi della

materia, ossia verso un'idea di architettura che comprenda nel suo codice genetico, la presenza di piú vite che si dispiegheranno

fino al dissolvimento dolce, non traumatico ne aggressivo, nell'ambiente.



A questo punto risulta essere determinante, da parte del progettista, la promozione di una diversa *filosofia* del costruire, in cui risulterà essere fondamentale la programmazione dei tempi di vita di un manufatto architettonico,

abbandonando l'antica aspirazione² a consegnare ai posteri un'eccessiva quantità di edifici destinati a sfidare i secoli.

Si tratta, dunque, di stabilire norme di progettazione relative ai cicli di vita degli oggetti e dei materiali e d'indirizzare, pertanto, la ricerca verso lo studio di processi



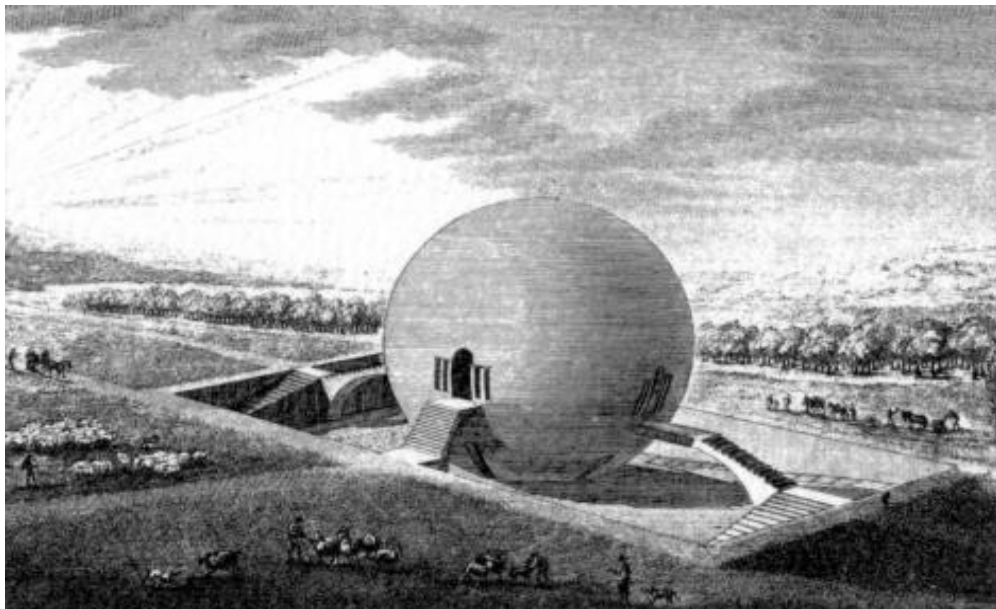
di morfogenesi dei prodotti. Sottolineare oggi che qualsiasi agire umano debba essere

2

Nel fondamentale libro del grande storico dell'arte Hans Sedlmayr "Perdita del Centro" scritto nel 1948, troviamo un'analisi estremamente lucida e acuta del fenomeno che lui definisce "la prima rivoluzione contro l'architettura", e cioè del passaggio da una concezione tradizionale dell'architettura ad una completamente nuova, mai vista nella storia, che sarà alla base di tutto il movimento moderno. In pratica la nuova estetica propone nettamente "l'isolamento" come valore assoluto, non c'è più il contatto con la natura né con l'uomo, ma una semplice idea astratta e gelida nella sua purezza.

Per il Sedlmayr tutto questo sistema rappresenta una concezione non accettabile. L'architettura apparentemente liberata dai vincoli imposti dalle altre arti, viene in realtà assoggetta ad una schiavitù molto più forte, la schiavitù della geometria. Si ottiene una concezione lontana dall'uomo e fondamentalmente una "non architettura".

L'autore rileva inoltre che è successiva l'introduzione di materiali antiplastici amorfi e quindi in un certo senso non sono responsabili di questi cambiamenti, anche se questi nuovi materiali si adattano perfettamente alla nuova concezione architettonica e sono effettivamente necessari per metterla in pratica.



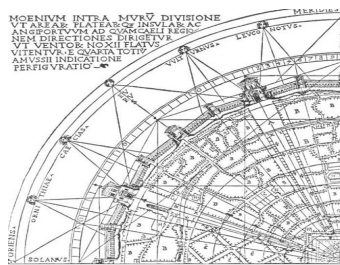
Claude Nicolas Ledoux « *Projet de maison de jardinier pour la cité idéale de Chaux* » 1804

Il progetto utopistico di Ledoux non rappresenta altro che la casa del cosmopolita, l'uomo senza patria, senza terra, senza tradizioni né religione, solo lui può vivere in una casa sferica priva di base. Questa prima fantasia astratta, utopistica per l'epoca, costituirà la nuova tendenza dell'architettura nei secoli successivi, come possiamo constatare noi oggi. [2]

compatibile con uno sviluppo sostenibile, può apparire ovvio e perfino superfluo, pur tuttavia è indispensabile ribadirlo in questa sede dal momento che gli esiti dell'attività dell'architetto, sono tra quelli con la maggiore possibilità di incidere, positivamente o negativamente, sulle risorse disponibili. Considerare la sostenibilità ambientale come una delle componenti fondamentali del fenomeno architettonico non deve essere interpretato come il conformarsi ad uno *“stile”* o ad una *“corrente”*, quanto piuttosto un completare la ben nota triade vitruviana³, così che la *sostenibilità* si integri alla *firmitas*, alla *venustas* ed alla *utilitas*, in un processo circolarmente sinergico nel quale ogni elemento è indispensabile, partecipa alla definizione degli altri e da essi è influenzato nel suo farsi materia costruita.■

E' opportuno richiamare la definizione di “sviluppo sostenibile” più efficace ed universalmente riconosciuta che è stata formulata nel Rapporto Brundtland **“Il Nostro Futuro Comune”** redatto per conto delle Nazioni Unite nel 1987:

³ Marco Vitruvio Pollione (latino Marcus Vitruvius Pollio; c. 80/70 a.C. – 23 a.C.) è stato un architetto e scrittore romano. fu l'unico scrittore latino di architettura la cui opera sia giunta fino a noi. Scrisse il trattato De architectura (L'architettura), in 10 libri, dedicato ad Augusto (che gli aveva concesso una pensione), probabilmente tra il 27 e il 23 a.C. L'edizione dell'opera avvenne negli anni in cui Augusto progettava un rinnovamento generale dell'edilizia pubblica. Tale trattato, riscoperto e tradotto in epoca rinascimentale (1414) da Poggio Bracciolini per primo, è stato il fondamento dell'architettura occidentale fino alla fine del XIX secolo[3]



“...ma queste opere devono essere realizzate secondo criteri di solidità (*firmitas*), di comodità (*utilitas*) e di bellezza (*venustas*). Il primo principio sarà rispettato se le fondamenta poggeranno in profondità, su strati solidi e se la scelta dei materiali sarà accurata, senza badare a spese; il secondo, o della funzionalità, allorché la distribuzione degli spazi [risponda] a un uso corretto e agevole e rispetti opportunamente l'esposizione cardinale in base alla funzione specifica dei locali. Il terzo infine, quello della bellezza, quando l'aspetto esteriore dell'opera sarà gradevole e raffinato, nel rispetto delle giuste proporzioni e della simmetria delle sue parti” [4]

(Vitruvio – De Architectura)

*“Lo sviluppo che è in grado di soddisfare i bisogni della generazione presente,
senza compromettere la possibilità che le generazioni future
riescano a soddisfare i propri”.*

L'attività “dell'abitare” (inteso in senso lato) e quella del costruire gli ambienti, le infrastrutture e quanto è funzionale “all'abitare stesso” sono maggiormente responsabili del consumo di risorse mondiali e dell'inquinamento ambientale.



“L'agire dell'architetto deve essere a priori un agire etico e quindi conscio e attento alle ricadute che questo suo agire avrà sull'ambiente.” [5]

E' utile richiamare qui in maniera sintetica alcuni fattori che misurano l'impatto ambientale derivante dal settore delle costruzioni durante l'intero ciclo di vita di un manufatto edilizio o di una opera infrastrutturale:

- circa il 40% dei materiali prodotti al mondo vengono utilizzati nel settore delle costruzioni;
- circa il 40% dei rifiuti proviene dai cicli produttivi e dalle demolizioni degli edifici;

- circa il 40% dei consumi planetari dell'energia è dovuto alle attività di costruzione ed esercizio degli edifici;
- circa il 40% dell'emissioni di CO₂ proviene dalle attività connesse alla costruzione ed esercizio degli edifici.

Sembra dunque imprescindibile che *l'ecosostenibilità* sia uno degli obiettivi primari dell'architettura.

Dopo questo indispensabile inquadramento, passiamo ora ad individuare i principali elementi che devono essere considerati per il soddisfacimento delle esigenze di una progettazione ecocompatibile:

- *il sito,*
- *il complesso edilizio,*
- *il singolo organismo edilizio,*
- *gli elementi tecnici,*
- *scelta dei materiali per la progettazione della struttura esterna*
- *scelta dei materiali per assicurare il confort dell'ambiente interno.*

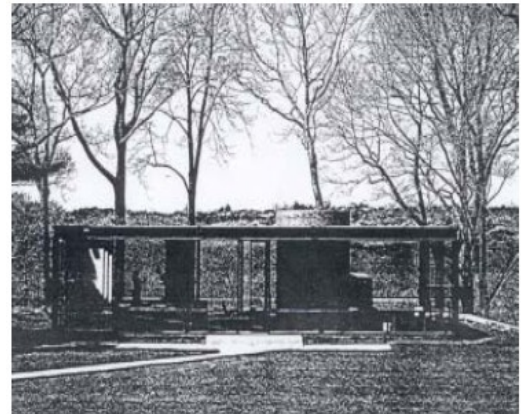
E' evidente che creare gerarchie di importanza rispetto alle esigenze non può essere un'azione assoluta, deve sempre esistere un legame biunivoco con il luogo e con il contesto socio-economico in cui ci si trova ad operare (*figura 1-2*).

Se, ad esempio, ci trovassimo in un deserto povero d'acqua ma ricco di petrolio sarà più importante massimizzare l'uso razionale dell'acqua; invece se ci si trova in una zona climatica temperata ricca d'acqua sarà più importante ottimizzare i consumi energetici; del pari in Paesi in via di sviluppo è opportuno adeguarsi allo stato delle

tecniche locali e non pretendere di introdurre sistemi tecnologici d'avanguardia difficilmente gestibili.



Figura 1: Architettura governata dalla necessità e dai limiti della natura



***Figura 2: Architettura indifferente alla necessità e dai limiti della natura, possibile solo con tecniche artificiali.
(Philip Johnson, Glass House, New Canaan, USA 1949)***

L'obiettivo principale dovrebbe essere quello di realizzare un edificio residenziale che sia non più oggetto "immortale" ma tendenzialmente una "macchina smontabile e modificabile" nel tempo nei suoi aspetti sia estetici che funzionali, posta temporaneamente in un luogo ma i cui materiali costruttivi paradossalmente gli sopravvivranno (attraverso le filiere del riciclo), impiegati successivamente nel tempo nella realizzazione di altri edifici o semplicemente riutilizzati come materiali di base in altri cicli produttivi.

Un progetto ecosostenibile, dunque, deve essere concepito e realizzato seguendo i seguenti criteri di riferimento:

- orientamento armonico dell'edificio in rapporto al percorso del sole;
- recuperabilità e riciclabilità dei materiali in seguito a demolizione;
- autonomia energetica della struttura (pannelli solari)
- utilizzo di materiali ecocompatibili per l'isolamento termico e acustico;

- sostituzione, dove sia possibile, dei materiali plastici tradizionali (dunque non in PVC in quanto contiene materiali tossici), con materiali plastici con equivalenti prestazioni meccaniche, ma non inquinanti.

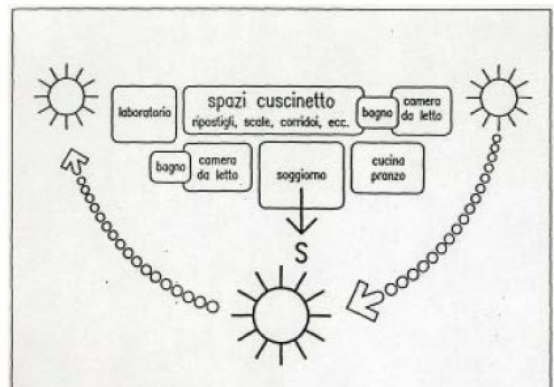


Figura 3: Distribuzione delle unità ambientali per ottimizzare gli affacci.
(da *Manuale di progettazione edilizia*, A.V., Hoepli, Milano 1996)

Primo punto determinante, è l'utilizzo di materiali che siano “dis-assemblabili”, ossia abbiano l'attitudine ad essere separati al termine della loro fase di esercizio, impiegando la minima quantità di lavoro e di energia e generando la massima quantità di materiali riusabili e/o riciclabili e la minima quantità di rifiuti eterogenei.

Empiricamente questo concetto è semplice da percepire: è più agevole, rapido ed economico smontare due strati con un sistema di giunzione meccanico puntiforme, piuttosto che incollati su larghe superfici di contatto. Ma ancora meglio se incollati con un adesivo poco tenace, solubile in acqua, piuttosto che con un adesivo molto tenace o ancor peggio attraverso una soluzione chimica che modifica profondamente lo stato delle facce da loro accoppiato.

Occorre pertanto, in fase progettuale, monitorare una certa soluzione, stabilendo a priori sia il grado di dis-assemblabilità dei materiali e delle tecniche utilizzate (per facilitare la fase ultima del riciclo), sia la possibilità di un riciclo successivo del materiale stesso. Quello che emerge è un orientamento verso una costruzione a secco basata su elementi tecnici e strati sovrapposti assemblati con connettori reversibili: *un cantiere in cui*

l'avvitatore meccanico o l'aria compressa sono destinati a prendere il posto della cazzuola o della martellina della tradizione..

Il soddisfacimento dei requisiti individuati conduce prima di tutto a stabilire la giusta collocazione del prototipo rispetto all'ambiente circostante.

La costruzione deve essere posizionata con l'asse longitudinale principale lungo la direttrice Est-Ovest, con una tolleranza massima di 45°. Gli ambienti nei quali si svolgerà la maggior parte della vita abitativa devono essere disposti a Sud-Est, Sud e Sud-Ovest.

Gli spazi che hanno meno bisogno di riscaldamento e di illuminazione (box, ripostigli, lavanderie, corridoi e cantine) devono essere preferibilmente disposti lungo il lato Nord e servire da cuscinetto fra il fronte freddo e gli spazi più utilizzati.

Le aperture maggiori devono essere collocate da Sud-Est a Sud-Ovest. (*figura 3*)

Per godere al massimo dall'illuminazione naturale i locali principali quali sale da pranzo, soggiorni, cucine abitabili e simili, devono essere orientate entro un settore $\pm 45^\circ$ dal Sud geografico.

Un altro aspetto su cui soffermarsi, oltre l'utilizzo di materiali che possano essere successivamente dis-assemblati e quindi riciclati, è l'utilizzo della plastica per le tubazioni e non solo.

Come già accennato in precedenza, la plastica è un materiale polimerico molto utilizzato in edilizia che presenta sicuramente numerosissimi vantaggi ma anche una serie di svantaggi.

Uno degli obiettivi è proprio quello di superare almeno in parte alcuni dei "limiti" di questo materiale originariamente associato al concetto di economicità e -quasi povertà- spesso di cattivo gusto e di scarso impiego, negli anni eletto materiale con un nuovo valore culturale aprendo la strada ad un'arte nuova alla portata di tutti.

Tra le materie plastiche che trovano maggiore utilizzo in edilizia abbiamo:

- polietilene, per tubature e condutture, barriere al vapore, ecc.;
- polivinilcloruro (PVC), impiegato per tubature, condutture, pavimenti e rivestimenti, infissi, profilati, ecc.;
- polistirene, per l'isolamento termo-acustico.

Le materie plastiche oltre ad essere praticamente indistruttibili sono in buona parte anche riciclabili ma a causa della lunga durata del loro ciclo di vita, sono tra i rifiuti il massimo impatto sull'ambiente. Il recupero di energia dalla plastica mediante incenerimento rappresenta la soluzione tecnicamente più semplice ed economicamente più vantaggiosa per lo smaltimento dei rifiuti plastici.

Tuttavia, sono numerose le problematiche associate alle potenziali emissioni nocive nell'atmosfera.

I vantaggi derivano essenzialmente da vari fattori quali:

- la riciclabilità, mediante la trasformazione di nuovi prodotti utili;
- l'economicità rispetto ad altri materiali usati;
- le buone caratteristiche estetiche;
- la particolare resistenza agli effetti del deterioramento dovuti all'acqua o all'azione degli agenti biologici;

Mantenere queste caratteristiche del materiale, minimizzando, gli aspetti dannosi dello stesso, è possibile, sostituendo le plastiche tradizionali con plastiche attualmente in commercio biodegradabili e biocompatibili, tali materiali pur conservando le stesse caratteristiche estetiche, meccaniche...etc abbattono gli effetti inquinanti .

C'è da dire, inoltre, che le plastiche, tradizionali e non (biodegradabili e biocompatibili), possono, ad oggi, essere utilizzate sia da sole sia con l'aggiunta di fibre in tal caso si costituiscono i materiali “compositi”.

Materiali compositi tradizionali ed innovativi (eco-compositi)

Con il termine “composito” in generale si intende un materiale ottenuto combinando due o più componenti in modo che il prodotto finale abbia proprietà diverse da quelle dei singoli costituenti.

I compositi sono generalmente costituiti da una fase continua (detta matrice) e da una discontinua (che viene detta rinforzo anche se la sua funzione non è sempre quella di rinforzare). Le matrici possono essere di tipo polimerico, metallico o ceramico, mentre i rinforzi possono essere di tipo particellare o fibroso.

Materiali compositi complessi sono largamente presenti in natura: nel legno un polimero di natura fibrosa, la cellulosa, è tenuta assieme da sostanze cementanti come la lignina; nelle ossa il tessuto connettivo contiene particelle di idrossiapatite.

L'utilizzo dei compositi come materiali da costruzione ha origine antichissime: già nell'antico Egitto era usanza preparare mattoni partendo da una miscela di fango rinforzato con paglia ed essiccato al sole.

Ad oggi i materiali compositi più utilizzati sono quelli a matrice polimerica.

Il primo composito a matrice polimerica risale al 1908 ed era formato da resine fenoliche e fibre di cellulosa che, oltre all'azione rinforzante, avevano lo scopo di ridurre lo sviluppo di prodotti gassosi in fase di stampaggio a caldo. Da allora i materiali compositi hanno raggiunto lo status di commodity negli anni '40 con fibre di vetro in poliesteri insaturi.

Questi tipi di compositi, però, presentano lo svantaggio di non essere riciclabili a causa dell'intimo mescolamento dei costituenti che li rendono difficilmente separabili; per

i compositi rinforzati con fibre di vetro, non è praticabile neanche l'incenerimento, in quanto le fibre rimangono come residui incombusti.

Negli ultimi decenni, la crescente attenzione verso l'ambiente e le specifiche richieste legislative riguardo la salvaguardia dell'ambiente e il riciclo dei materiali, hanno fatto in modo che sempre più ricercatori rivolgessero la propria attenzione ed i loro studi verso l'impiego di materiali provenienti da fonti rinnovabili e facilmente recuperabili o degradabili a fine uso ("environmental friendly").

Si è cercato di sostituire, nei compositi di più largo consumo, alle fibre di vetro rinforzi meno invasivi per l'ambiente come le fibre naturali.

In passato le biofibre non erano state prese in considerazione come rinforzi per materiali polimerici, a causa di alcuni problemi connessi al loro utilizzo:

- ❖ La bassa stabilità termica, quindi la possibilità di degradazione della fibra e di emissione di prodotti volatili durante la lavorazione ad alta temperatura.
- ❖ La natura idrofila, che da una parte causa instabilità dimensionale (rigonfiamento) e suscettività a macerare e dall'altro abbassa la compatibilità con le matrici polimeriche con cui sono mescolate nei compositi.
- ❖ La variabilità di proprietà e quantità a seconda della qualità del raccolto, dell'età della pianta da cui sono estratte, delle tecniche di estrazione, delle condizioni ambientali, della località di provenienza etc.

D'altra parte rispetto ai rinforzi tradizionali (fibre di vetro, carbonio...) *le biofibre* presentano numerosi vantaggi:

- ❖ Sono meno costose;
- ❖ Sono facilmente reperibili ed abbondanti;
- ❖ Causano meno problemi respiratori e dermatologici per gli addetti alla lavorazione;
- ❖ Sono biodegradabili, combustibili e riciclabili con varie matrici;
- ❖ Sono meno abrasive per le apparecchiature di lavorazione.

La produzione di materiali innovativi a supporto del design per la realizzazione di oggetti eco-sostenibili nel settore dell'arredo per ambienti esterni ed interni, oggi è sentito come priorità assoluta da un gran numero di aziende, vista la crescente esigenza di protezione dell'ambiente, pertanto sono stati messi in commercio numerosi esemplari di materiali compositi innovativi ed eco- compatibili, questi vengono utilizzati con finalità differenti tra loro in base alle prestazioni e caratteristiche meccaniche.

Qui di seguito sono elencati alcuni di questi materiali, alcuni dei quali con le loro relative applicazioni:

❖ ***Compositi Naturali - (“Legni Tecnologici”)***

Una classe molto importante di materiali compositi è rappresentata dai compositi naturali: si tratta di materiali compositi costituiti in parte da legno naturale e in parte da materiale polimerico.

Questi particolari prodotti vengono indicati anche con il nome di “legni tecnologici” per via delle loro elevate prestazioni e delle loro ottime caratteristiche funzionali, decisamente superiori a quelle del legno naturale.

Leggeri, impermeabili, resistenti all’invecchiamento, all’abrasione e al graffio, molto stabili dimensionalmente e resistenti alla flessione, possono essere sovraverniciati oppure possono essere utilizzati tal quali. Trovano largo impiego nell’industria meccanica (ingranaggi, pattini, guide, bronzine), siderurgica, elettromeccanica, ferroviaria, tessile, sportiva ed automobilistica (come fondi per macchine da corsa); vengono utilizzati anche nel settore del mobile, dell’imballaggio e del confezionamento.

Per quanto riguarda la loro applicazione nel settore dell’architettura e dell’edilizia, questi materiali tecnologici trovano impiego nella realizzazione di pavimentazioni sia interne che esterne, ringhiere, steccati, terrazze, mobili da giardino, panchine e sdraio .

Caso studio: *applicazione di legni tecnologici per l’arredo dell’ambiente lagunare.*

Per tradizione tutti i manufatti utilizzati per delimitare e favorire l’ormeggio ed il transito delle imbarcazioni per il Centro Storico veneziano sono realizzati in legno.

Il materiale risulta tuttavia sempre più difficile da reperire e costoso e sempre meno resistente agli agenti biotici (organismi marini, funghi, batteri, etc.) e abiotici (umidità, temperatura, raggi solari, salsedine, etc.)

Il progetto, cofinanziato dalla Regione Veneto con L.R. 36 del 1995, ha inteso rispondere all'esigenza di individuare soluzioni alternative per migliorare la durabilità dei vari manufatti utilizzati nell'arredo lagunare, quali pali per l'ormeggio, briccole, passerelle, pontili e approdi.

La ricerca, in particolare, ha inteso individuare materiali innovativi ad elevata durabilità rispetto agli agenti atmosferici e agli organismi xilofagi (teredini), al fine di prolungare il ciclo di vita dei manufatti, mantenendo un'accettabile eco-compatibilità.

Sono stati messi a punto, in collaborazione con Bizeta S.r.l. – attraverso una innovativa tecnologia di estrusione – alcuni manufatti compositi a base di farina di legno e poliolefine (polipropilene e polietilene).

I manufatti così prodotti sono stati caratterizzati per valutare le più rilevanti proprietà fisico-meccaniche: densità, durezza, modulo elastico, flessione, resistenza termica (HDT), resistenza all'urto (con intaglio IZOD), analisi dinamico-meccanica e prove di assorbimento in acqua.

La durabilità è stata verificata secondo i seguenti criteri: resistenza agli agenti esterni mediante l'invecchiamento accelerato in laboratorio (Sun Test, 1000 ore), e la resistenza alle teredini mediante l'applicazione dei campioni compositi in due siti pilota lagunari (Fusina e Sacca della Misericordia).

Per quanto riguarda la resistenza agli agenti esterni mediante invecchiamento accelerato (Sun test), non vi sono sostanziali riduzioni delle proprietà meccaniche; ciò consente di estrapolare una durabilità dei nuovi materiali di circa 10 anni.

L'esposizione dei compositi agli agenti esterni mediante applicazione in siti pilota lagunari ha evidenziato una variazione di colore verso il grigio, simile al legno. (*figura 4*)



Figura 4: Posizionamento pali compositi e campioni di legno a Fusina Maggio 2004

La resistenza all'attacco delle teredini è risultata buona in quanto non si è osservato, a distanza di un anno dall'immersione in laguna, nessun attacco delle teredini, mentre i campioni di legno d'abete e rovere sommersi sono stati completamente distrutti in una sola stagione estiva. (*figura 5*). L'osservazione fatta dopo due anni ha confermato la resistenza dei campioni compositi all'attacco delle teredini.



Figura 5: Pali compositi e campioni di legno prelevati dopo 1 anno di immersione in acqua

I risultati raggiunti indicano che tali manufatti compositi (*figura 6*) (farina di legno/polipropilene) rappresentano anche un miglioramento della valutazione del ciclo di vita del materiale, poiché le materie prime impiegate sono ottenute dalla filiera di riciclo del legno (segherie, mobilifici, etc.) di facile reperibilità e anche da possibili polimeri di riciclo selezionati e grantiti (quali per esempio i polimeri impiegati nell'imballaggio alimentare).

Alla fine del ciclo di vita il materiale può essere in parte riciclato nella sua linea di produzione e in parte utilizzato come combustibile ad alto potere calorifico (bassa umidità, simile al legno in pellets).



Figura 6: Il materiale presenta un'ottima finitura superficiale, lavorabile come il legno

Il Design, riveste un ruolo di fondamentale importanza nell'affermazione delle strategie di sviluppo sostenibile, portando alla realizzazione di prodotti a basso impatto ambientale.

Tecniche come il *Life Cycle Design*⁴, *Design for Assembly*⁵, *Design for Disassembly*⁶, permettono di realizzare prodotti il cui ciclo di vita (raccolta materie prime, produzione e assemblaggio, imballaggio e spedizione, utilizzazione, eliminazione) sia in grado di chiudersi su se stesso. Attraverso la strategia delle **3R** (*ridurre, riutilizzare e riciclare*)

“i designers possono contribuire a rallentare il degrado ambientale più degli economisti, dei politici, delle imprese e anche degli ambientalisti.” [7]

Alastair Fuad-Luke

Il concetto di Eco-Design si sta rapidamente diffondendo nella comunità del design, che sempre più spesso dedica grande attenzione all'utilizzo di materiali di recupero per lo sviluppo di prodotti di uso comune.

Sebbene non sempre applicabile questo concetto alla produzione del mobile d'alta fascia, tipico della produzione lombarda, è comunque possibile ricercare nell'ampio panorama dei nuovi materiali soluzioni che siano in grado di coniugare l'esigenza di sostenibilità ambientale e elevata qualità di produzione.

Le imprese necessitano di una ricerca costante nel campo dei nuovi materiali eco-sostenibili, che permettono nella maggior parte dei casi lo sviluppo di prodotti con caratteristiche tecniche e semantiche differenti da quelli presenti sul mercato.

⁴ **LIFE CYCLE DESIGN**

Studio preliminare nella fase di progettazione del prodotto, che ne analizza l'impatto ambientale durante tutto il suo ciclo di vita, dalla produzione all'utilizzo, dalla dismissione allo smaltimento.

⁵ **DESIGN FOR ASSEMBLY (DfA)**

Processo progettuale volto al miglioramento del design di prodotto in modo da ottimizzare i tempi ed i costi di assemblaggio.

⁶ **DESIGN FOR DISASSEMBLY (DfD)**

Processo progettuale che ha come obiettivo lo sviluppo di un prodotto che, al termine del suo ciclo di vita, possa essere smontato con facilità, in modo che i suoi componenti possano essere riutilizzati e riciclati nel processo produttivo.

Perseguire questa strada garantirà alle imprese una reale innovazione-sostenibile, che nel prossimo futuro potrà dimostrarsi un reale fattore di competitività per le imprese del settore.

❖ ***ECOMIND materiali per la sostenibilità dell'ambiente [6]***

Promosso da *CLAC* srl in collaborazione con *Istituto Europeo di Design e Material Connexion* Milano, il progetto *ECO-MIND* ha l'obiettivo generale di valorizzare e promuovere il ruolo del design come ponte insostituibile per lo sviluppo sostenibile dell'industria Legno Arredo, rivolgendosi a tre differenti tipologie di interlocutori:

- la comunità degli imprenditori
- la comunità dei progettisti
- la comunità dei consumatori finali del prodotto d'arredo

Per raggiungere questo obiettivo generale il progetto si pone alcuni obiettivi:

- sviluppare una ricerca sui nuovi materiali eco-sostenibili in grado di ridurre l'impatto ambientale e di favorire un utilizzo più consapevole delle risorse, mettendone in luce le potenzialità nel settore dell'arredo in termini di prezzo e prestazioni;
- mettere in evidenza l'utilità e le potenzialità di una progettazione sostenibile, utilizzando una serie di *best cases* esemplari come base teorica della ricerca;
- offrire al settore dell'arredo esempi concreti dei possibili campi di utilizzo dei nuovi materiali eco-sostenibili, sviluppando una serie di idee progettuali basate sulla ricerca materiale effettuata;
- dare evidenza di come la ricerca sui materiali di lavorazione possa contemporaneamente garantire lo sviluppo di un prodotto innovativo e competitivo sul mercato;

Di seguito sono elencati ed illustrati alcuni esempi di materiali eco-compatibili:

Shetkastone

Blocchi per costruzioni ad alta resistenza ottenuti dal riciclaggio di carta ‘lucida’ (fig.-7-8).

Si tratta di carta riciclata al 100% proveniente da riviste ed elenchi telefonici compressi ad alta pressione per mezzo di un processo che elimina acqua ed aria per creare dei ‘mattoni’ ad alta densità che possono essere inchiodati, avvitati, sezionati ed inoltre verniciati con vernici sigillanti e finiture in modo simile al legno.

Questi mattoni godono di proprietà meccaniche simili al legno di pino (ma ad un quinto del costo), sono Classe A per comportamento al fuoco, e non richiedono l’impiego di ulteriori leganti o prodotti chimici.

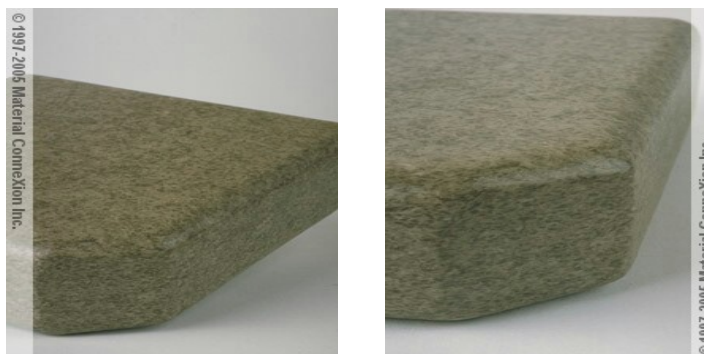


Figura 7– Mattoni ottenuti dal riciclaggio di carta



Figura 8- Esempio di applicazione

Dakota Burl

Un materiale composito, a base biologica, (figura 9) con l'apparenza tradizionale dell'essenza del legno, è ottenuto all'84% da gusci di semi di girasole del Nord e del Sud Dakota ed è legato per il 10% da MDI (diisocianato di di-fenil-metano) e quindi non contiene formaldeide.



Figura 9 : Pannelli a base biologica(Dakota Burl)

Il materiale offre elevata resistenza alle abrasioni. E' lavorabile con le macchine tradizionali per la lavorazione del legno. Può essere usato al naturale senza finitura, può essere rifinito con uretano e/o poliuretano e può essere dipinto in una vasta gamma di colori con tinte convenzionali per legno. Sia rifinito che al naturale si presenta con una combinazione di toni bianco, giallo e marrone con venature nere e possono essere usati come pannelli per pareti, banconi, mobili, finiture e inserti per pavimenti e per porte e sportelli (figura 10).

Non è raccomandato l'uso in bagni e cucine o in ogni caso in zone soggette ad essere esposte al contatto diretto e prolungato con l'acqua.



Figura 10 - Esempi di applicazione

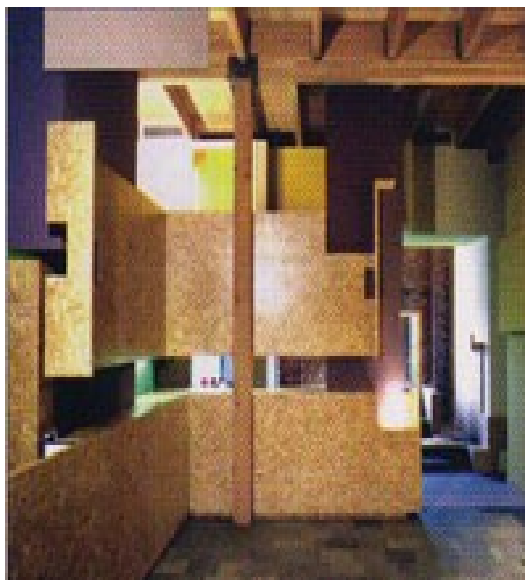


Figura 10 - Esempi di applicazione



Wellies Recycled plastic sheets

Fogli polimerici flessibili derivati dal riciclo di stivali da pioggia per bambini (*Figura 11*). Mediante un procedimento specifico che si basa sull'azione di calore e pressione (1000 t) si ottengono fogli dello spessore di 3 mm di dimensioni 200 x 800 mm. Il materiale è disponibile in due versioni: con gli stivaletti riciclati da interi e trasformati in foglio dopo essere stati precedentemente ridotti in piccoli pezzi.

Le attuali applicazioni riguardano tappetini e accessori per ambienti quali cucine, bagni, piscine, palestre, spa, inoltre salvaschizzi, tovaglie e tovagliette, tappeti, antiscivolo, pareti divisorie, rivestimenti, arredamento, display commerciali. (*Figura 12*).



Figura 11

Figura 12-esempio di applicazione

Environ biocomposite

Un biocomposito formato al 40% da prodotti di carta da giornale riciclata, per un 40% da un sistema resinoso a base di soia, e al 10% da additivi coloranti ed altri elementi (figura 13-14). Il composto è legato con

composti che non contengono formaldeide. Questo materiale è conforme allo standard di test ASTM D1037-93 per la misura delle proprietà dei pannelli a base di fibre e particolato di legno. È una volta e mezza più duro della quercia, ma può essere tagliato, fresato, piallato, perforato, fissato e rifinito



Figura 13: Environ biocomposite

in modo simile al legno. Può essere impermeabilizzato per renderlo resistente alle macchie e all'umidità con i normali sistemi di finitura.

Il biocomposito è molto resistente all'acqua ed è, quanto a dimensione, stabile ai liquidi ed ai vapori, tuttavia non è impermeabile. Ha un alto livello di resistenza alle abrasioni.

Utilizzato per realizzazione di mobili, arredamento negozi, piastre, pannelli per pareti, finiture e pavimenti.

Non è raccomandato l'uso per bagni o cucine o per zone soggette al contatto diretto e prolungato con l'acqua.



Figura 14 Environ biocomposite

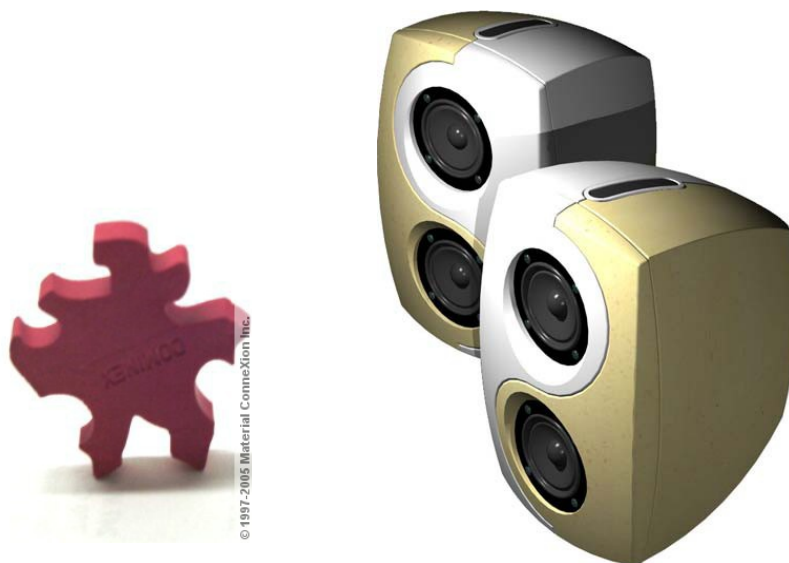
Materiale sostitutivo dei termoplastici per stampaggio ad iniezione con composizione 50-70% chips di legno, 20% granturco, 10% resina naturale e additivi. La densità del materiale è 1,4 kg/dm³. Questo materiale naturale alternativo ai termoplastici può essere lavorato con macchinari standard per stampaggio ad iniezione richiedendo una temperatura di lavorazione inferiore rispetto a quella necessaria per l'utilizzo di materiali di origine petrolchimica, tuttavia i pezzi stampati richiedono tempi di raffreddamento negli stampi.

Il prodotto finale può essere sottoposto a trattamenti di finissaggio come il legno, lavorato come l'MDF⁷ ed è biodegradabile.

Per essere reso resistente all'acqua il materiale deve essere trattato con una vernice finissante, altrimenti si dissolve nell'arco di ore. I colori disponibili sono naturale, rosso, arancione, blu, verde, giallo, grigio e nero. La densità del materiale è 1,4 kg/dm³.

Le possibili applicazioni (*figura 15*) sono illimitate e correntemente includono ad esempio giocattoli, puzzle ad incastro, coppette per gelato da passeggio, pannelli acustici, attrezzi, packaging, golf tees, altoparlanti e componenti per elettronica, televisori, manici di spazzole.

Figura 15- Esempi di applicazione



⁷ Il **MDF (Medium density fibreboard)**, 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).

❖ ***"Greensulate formula" Isolante termico naturale [7]***

La continua richiesta di nuove soluzioni per far fronte all'aumento delle temperature, alla ricerca di energia ecocompatibile e allo sforzo di mantenere il nostro pianeta più "verde" possibile; ha incentivato lo sviluppo alternativo di nuovi materiali isolanti per le costruzioni. Senza dubbio il modo migliore per un effettivo risparmio energetico nelle abitazioni è una "buona dose" di isolamento termico.

Si tratta dell'idea di Eben Bayer e di Gavin McIntyre, (Figura 16) due studenti americani del Rensselaer Polytechnic Institute i quali hanno ideato e brevettato la "Greensulate formula", un pannello isolante composto di acqua, farina, di spore di un particolare fungo il *Pleurotus ostreatus* e di perlite

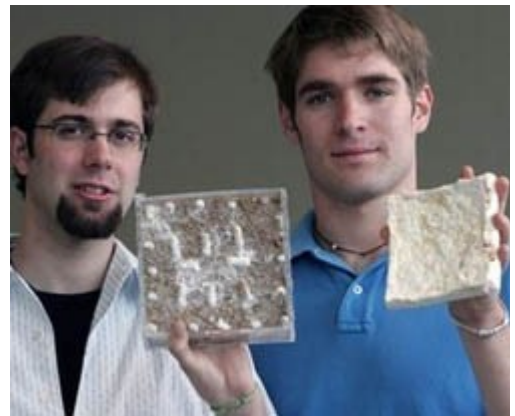


Figura 16- Eben Bayer e Gavin McIntyre

Ci si possono fare pannelli e pare abbia una buona resistenza al fuoco.

In pratica si costruiscono delle mattonelle con una miscela degli elementi sopra elencati e si lascia del tempo al fungo per crescere e sviluppare una rete di radici. I funghi crescono al buio (non fanno fotosintesi) e dopo una o due settimane la mattonella è pronta per essere seccata in forno. La "cottura" ferma la crescita del fungo, prevenendo così possibili allergie.

I due giovani colleghi sperano che loro soluzione possa entrare a far parte della lista dei prodotti ecocompatibili che sostituiranno i derivati del petrolio, visto anche il basso costo e la scarsa quantità di energia che richiederebbe la fabbricazione.

Non creare dispersioni di calore all'interno della propria abitazione è già un buon obiettivo, ma che questo comporti l'utilizzo di materiali naturali è un'ottima soluzione.

❖ ***Materiali Termoregolanti (Phase Change Material-PCM)***

Tra i materiali innovativi, particolare attenzione va dedicata ai materiali termoregolanti. Per materiale termoregolante si intende un materiale capace di regolare la temperatura mantenendola entro un campo ottimale prefissato. Ricorrendo all'utilizzo di sostanze a cambiamento di fase speciali (dette Phase Change Material-PCM), che possiedono la proprietà di cambiare il loro stato fisico da solido a liquido e viceversa in funzione della temperatura alla quale si trovano, si possono realizzare, attraverso processi industriali particolari, tessuti e schiume termoregolanti oltrechè traspiranti, impermeabili all'acqua e all'aria ma permeabili al vapore e all'umidità.

Questi materiali consentono di mantenere la temperatura corporea ad un livello ottimale e di benessere, eliminando così gli sbalzi termici e quindi evitando periodi di surriscaldamento o di raffreddamento eccessivo.

Agiscono attivamente seguendo le condizioni fisiche di chi li indossa per cui, anche se caratterizzati da spessori bassi, quelli caratteristici dei tessuti, sono molto più efficaci di questi dal punto di vista dell'isolamento termico. Questi materiali trovano applicazione anche nel settore dell'arredamento nella realizzazione di materassi, cuscini e coperte. Sono utilizzati, sottoforma di schiume termoregolanti, anche nel settore architettonico per la coibentazione di ambienti, grazie alla loro proprietà di incamerare, conservare e poi rilasciare uniformemente il calore

Caso studio: *Alloggi per anziani a Domat/Ems [8]*

L'architetto svizzero Dietrich Schwarz ha sviluppato una facciata che, grazie ad uno strato di cristalli di sale, accumula il calore del sole incidente e lo cede, in caso di bisogno, ai locali retrostanti. Un vetro prismatico impedisce il surriscaldamento estivo.

La facciata (*Figura 17*) è stata realizzata a Domat/Ems (CH) in un edificio che ospita 20 alloggi per anziani.



Figura 17 - Alloggi per anziani a Domat/Ems (CH)

Domat/Ems è un Comune nel Cantone dei Grigioni, situato nella valle del Reno, non lontano da Coira.

Il terreno è stato messo a disposizione dal Comune, ma l'edificio è stato finanziato da privati. I 20 alloggi per anziani sono distribuiti a schiera su quattro piani e orientati verso Sudovest. Sul lato nordest si trova un ampio loggiato con finestre. I solai sono stati costruiti in cemento armato e le pareti in blocchi sabbia/calce. L'edificio è riscaldato con l'aria, cioè tramite l'impianto di ventilazione, ma, al bisogno, possiede anche pavimenti riscaldati. Lo stesso impianto serve in estate per il raffreddamento.

L'elemento più interessante dell'edificio è la facciata translucida di vetro esposta a Sudovest: la facciata lascia passare la luce, ma la diffonde in modo che gli oggetti dietro la facciata non siano visibili, se non in maniera sfocata. La facciata è stata costruita per captare l'energia solare.

La sua particolarità è un accumulatore latente che assorbe il calore e lo restituisce, con un certo ritardo, irradiandolo verso i locali interni.

L'accumulatore consiste in un materiale speciale, il cosiddetto "phase changing material" (PCM), che, ad una determinata temperatura, cambia il suo stato di aggregazione, ad esempio, da solido diventa liquido e viceversa.

Il PCM nella facciata dell'edificio di Domat/Ems è un idrato di sale. L'accumulo di calore si ha quando i cristalli si riscaldano e si sciolgono, ma riacquistano la forma solida quando si raffreddano.

L'idrato di sale è ermeticamente chiuso in contenitori di plastica colorati di grigio per aumentare l'assorbimento. Verso i locali retrostanti, i contenitori sono protetti da una lastra di vetro di sicurezza, che può essere decorata con dei disegni serigrafici.

Con la realizzazione di questa facciata, si è potuto applicare su scala industriale un concetto di facciata che l'architetto aveva già sperimentato, qualche anno addietro, in una villetta situata a Ebnat-Kappel (CH) e premiata con il Premio Solare 2001 della Svizzera.

Gli elementi della facciata solare sono stati forniti dall'azienda GlassX, una società dello stesso Dietrich Schwarz che produce e commercializza gli innovativi vetri (marchio commerciale GLassXCrystal.)

Obiettivo del lavoro di tesi

Il concetto di *Eco-Design* si sta rapidamente diffondendo nel mondo del design, che sempre più spesso dedica grande attenzione all'utilizzo di materiali di recupero per lo sviluppo di prodotti di uso comune.

Occorrerebbe, pertanto, valutare sempre più spesso quelli che potrebbero essere gli effetti di ogni singola azione e di ogni singolo materiale sull'*Uomo* e sull'*Ambiente*, sarebbe auspicabile, in un futuro prossimo, preferire di norma l'utilizzo di materiali costruttivi prodotti con materie prime naturali piuttosto che quelli prodotti esclusivamente in laboratorio con processi di sintesi chimica difficilmente reinseribili nel ciclo della vita, come ad esempio le plastiche tradizionali.

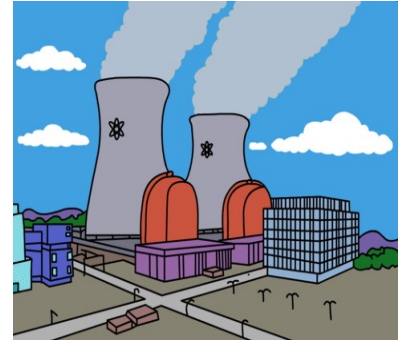
La biodegradabilità è la caratteristica delle sostanze e dei materiali naturali di essere assimilati dai microrganismi e di essere così immessi nei cicli naturali.

I materiali organici naturali, giunti al suolo tendono progressivamente a decomporsi e a sparire. Questo fenomeno è molto importante per l'ambiente che deve liberarsi dai rifiuti e dalle scorie per far posto alla nuova vita.

Gli alberi, le piante, le alghe, ossia tutti gli organismi fotosintetici, grazie al sole, assumono anidride carbonica dall'atmosfera e la utilizzano per sintetizzare zuccheri e tutte le altre numerosissime sostanze presenti in natura.

La condizione per la biodegradabilità di una sostanza è che in natura esista un microrganismo cioè un [batterio](#) capace di sintetizzare l'[enzima](#) necessario per decomporla, tale condizione esiste per tutti i composti organici naturali.

Per i prodotti sintetici nuovi, invece, ottenuti artificialmente attraverso processi industriali, tali microrganismi non esistono; i prodotti sintetici si dicono in questo caso non biodegradabili e si accumulano nell'ambiente contribuendo al suo inquinamento.



In alcuni casi la sostanza, pur non essendo biodegradabile, non è pericolosa, in quanto non minaccia la vita degli [ecosistemi](#); in altri può arrecare ingenti danni ecologici.

Alcune delle sostanze non biodegradabili più comuni sono le [materie plastiche](#): pur essendo i loro costituenti elementi semplici come il carbonio, l'idrogeno e l'ossigeno, sono combinati in modo tale da non poter essere scomposti da nessuno dei batteri presenti in natura.

La categoria di composti resistenti più dannosi è quella degli idrocarburi clorurati, costituiti da molecole complesse di carbonio, [idrogeno](#) e [cloro](#) (tra cui le diossine)

Anche l'attività edificatoria è un'azione che, comunque, in qualche modo turba gli equilibri naturali, e quindi sta a noi trovare la migliore mediazione che ci permetta di inserirci nei cicli della natura con il minor impatto possibile.

Molta strada rimane sicuramente ancora da fare, e nei prossimi anni certamente verrà realizzato un maggior numero di prodotti rispettosi della salute dell'uomo e dell'ambiente, e probabilmente molte tecniche che attualmente sono utilizzate nell'*Architettura Bio-compatibile*, diventeranno patrimonio del comune costruire.

Il Progetto Ecologico (o l'Architettura Bio-compatibile) si pone come un modo diverso di fare architettura, secondo principi che vanno diffusi e assimilati e che costituiscono le premesse di un modo diverso di essere del "progettista costruttore".

Si vuol ritrovare un nuovo punto d'equilibrio ed insieme di rifondazione che riporti l'architetto ad un ruolo che fu già suo e che un certo sviluppo distorto degli insediamenti ha negato.

L'Architettura Bio-compatibile paragona la casa ad un organismo e la sua struttura alla pelle: come la nostra pelle - e come i vestiti, simili in questo ad una seconda pelle - essa adempie alle funzioni vitali essenziali: proteggere, isolare, respirare, assorbire, evaporare, regolare, comunicare, rigenerare.

L'obiettivo della biologia architettonica ("Baubiologie") è la realizzazione di elementi che soddisfino le esigenze fisiche, biologiche e spirituali di chi ne usufruisce; di conseguenza la struttura, i servizi, i colori e gli odori devono interagire armoniosamente con l'uomo e con l'ambiente.

Quest'interscambio costante tra interno ed esterno dipende da una buona traspirazione: la casa, come la pelle, deve mantenere condizioni interne di vita tali da garantire igiene e salute.

Oggi, molte abitazioni moderne sono diventate "involucri chiusi", senza contatti con l'esterno e quindi malsane. Le esalazioni delle sostanze plastiche, i pavimenti trattati con additivi, le finestre e le porte chiuse ermeticamente, i materiali isolanti, gli strati impermeabili di vernici e collanti sintetici avvolgono tutto l'edificio e non lo lasciano respirare.

La bio-compatibilità rivaluta i materiali e i metodi di costruzione naturali e tradizionali, come le strutture in legno massiccio, i blocchi di argilla uniti tra loro con calce e cemento non additivato, i tetti verdi, l'utilizzo dell'acqua per rivitalizzare gli ambienti... Si usano con gran sensibilità materiali eco-compatibili, non trattati sinteticamente, che influenzano l'ambiente indoor positivamente, senza demonizzare i nuovi materiali.

Risulta fondamentale in **ambito** progettuale recuperare i principi generali della natura come elementi di progettazione: recuperare il senso della storia e la memoria dei luoghi; progettare secondo l'architettura dell'ascolto, intesa come lettura dei luoghi e come coinvolgimento degli utenti nella progettazione.

Le imprese necessitano di una ricerca costante nel campo dei nuovi materiali eco-sostenibili che permettono, nella maggior parte dei casi, lo sviluppo di prodotti con caratteristiche tecniche e semantiche differenti da quelli attualmente presenti sul mercato. Perseguire questa strada potrà garantire alle imprese una reale innovazione-sostenibile, che nel prossimo futuro si rivelerà un reale fattore di competitività per le aziende del settore del design d'interni.

L'obiettivo di questo lavoro di ricerca

è stato mettere a punto la formulazione di nuovi composti ecosostenibili che abbiano un impatto minimo sull'ambiente pur assicurando massima efficienza funzionale e che presentino proprietà meccaniche adeguate per l'applicazione nel settore edile, tali da poter consentire all'occorrenza la sostituzione dei materiali tradizionali.



In particolare il loro impiego potrebbe essere destinato *(nella progettazione di interni)*:

- ❖ a pannellature divisorie e/o di rivestimento;
- ❖ a pavimentazione;
- ❖ protezioni in genere (pannelli isolanti interni a tramezzi e/o pavimentazioni).

La nostra sperimentazione ha previsto la realizzazione di compositi eco-compatibili, costituiti da due differenti tipologie di matrici:

- termoindurente a base di farina di soia (SF),
- termoplastica, utilizzando materiali polimerici di vario tipo

Nel primo caso, la matrice termoindurente è a base di farina di soia, e quest'ultima risulta essere completamente biocompatibile in quanto non genera sottoprodotti tossici quando brucia, essendo essa derivante da fonti naturali quali le proteine e le fibre della soia.

Nel secondo caso le matrici sono termoplastiche, e si riferiscono a tre differenti polimeri :

- *Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)* (PHBV),
- *Ecoflex®*,
- *Polietilene a bassa densità* (LDPE)

- Il **PHBV**, *polyhydroxybutyrate-co-polyhydroxyvalerate*, è un copoliestere biodegradabile, e può essere utilizzato per la produzione di una vasta gamma di prodotti.

Quando inutilizzata, la plastica si degrada naturalmente in acqua e anidride carbonica grazie ai batteri presenti nel suolo. [9]

Il PHBV appartiene alla famiglia dei poli-idrossi-alcanoati. Essi sono prodotti a partire da una vasta gamma di micro-organismi, come parte del loro meccanismo di sopravvivenza.

Questa famiglia di poliesteri, ottenuti per sintesi batterica, ha attratto molta attenzione poiché essi possono essere prodotti da diverse fonti rinnovabili, sono completamente biodegradabili e rappresentano materiali termoplastici altamente biocompatibili.

- L'**Ecoflex®** (di BASF) è un poliestere biodegradabile che offre nuove soluzioni alla realizzazione di sacchetti di plastica che, entro circa 80 giorni, vengono decomposti dai microorganismi. [10]

L'Ecoflex è un copoliestere termoplastico lineare biodegradabile che si ottiene da prodotti di sintesi petrolchimica.

- Il **polietene** (più comunemente noto come polietilene) è il più semplice dei [polimeri](#) sintetici ed è il più comune fra le [materie plastiche](#) tradizionali. [11]

Il polietilene è una resina [termoplastica](#), si presenta come un solido trasparente (forma amorfa) o bianco (forma cristallina) con ottime proprietà isolanti e di stabilità chimica, è un materiale molto versatile ed una delle materie plastiche più economiche; gli usi più comuni sono come isolante per cavi elettrici, film per l'agricoltura, borse e buste di plastica, contenitori di vario tipo, tubazioni, strato interno di contenitori asettici per liquidi alimentari ("Tetra Brik Aseptic") e molti altri.

In ambedue le tipologie di matrice il rinforzo è costituito da fibre naturali:

- *fibre di Caroà estratte dalla foglia della specie Neoglaziovia variegata (Figura 18), coltivata in Sud America (Brasile);*



Figura 18- Neoglaziovia variegata

- *fibre di Kenaf, (specie di Hibiscus), estratta da una pianta erbacea (Figura 19) con un gran contenuto di fibre.*

Il Kenaf, che appartiene alla famiglia delle Malvacee, è facile da coltivare, pur essendo originaria dell'Africa sopporta bene il clima rigido.



Figura 19- Specie di Hibiscus

Le sue caratteristiche sono tali da permetterle di crescere fino a 2-3 metri di altezza durante il suo ciclo (poco più di 4 mesi).

Il Kenaf è stato anche funzionalizzato attraverso due differenti processi, al fine di migliorare l'adesione fibra/matrice.

La differente natura delle matrici con cui sono realizzati i compositi, rende possibile in seguito, l'utilizzo dei materiali in diverse applicazioni nell'arredamento d'interni, questo perché:

- ❖ i compositi a base di *matrice termoplastica* si prestano ad essere modellati più volte e dunque ad assumere (in un tempo determinato) differenti forme a seconda dell'impiego.
- ❖ diversamente quelli a base di *matrice termoindurente*, una volta processati ad elevata temperatura, conservano la forma.

Nella fase di processo dei compositi termoindurenti si è provveduto all'aggiunta di una determinata quantità di sostanze a cambiamento di fase speciali (*Phase Change Material-PCM*), (Figura 20) e successivamente dopo aver realizzato i materiali, sono state effettuate delle prove di termoregolazione.

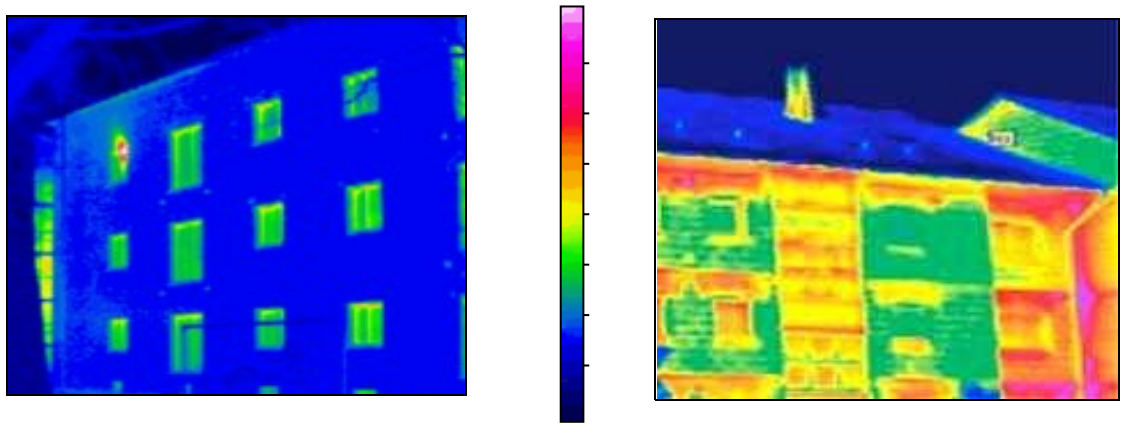


Figura 20: comportamento delle microcapsule, in caso di accumulo o rilascio di calore

Esempio di termoregolazione effettuata, però sulla facciata di un edificio. *(figura 21)*

L'obiettivo di tale inserimento è stato quello di poter realizzare dei pannelli, che avessero una ruolo non solo estetico, qualora fossero posti a vista (a parete, a soffitto o a pavimento) ma anche funzionale riuscendo a regolare la temperatura interna dell'ambiente, mantenendola entro un campo ottimale prefissato.

Figura 21: analisi termografica della facciata di un edificio.



CAPITOLO II

MATERIALI

E METODI DI

CARATTERIZZAZIONE

2.1 Materiali

Di seguito sono riportati i materiali impiegati nel presente lavoro di tesi:

- La farina di soia (SF) è stata fornita dai mangimifici Liverini-Telese (BN).
- La glutaraldeide (GA) in soluzione acquosa con una concentrazione del 25% in peso e il glicerolo in soluzione acquosa, con una concentrazione del 99% sono stati entrambi forniti dalla Sigma Aldrich.
- Idrossido di sodio in pellets è stato fornito dalla Degussa.
- Sono state utilizzati due tipi di fibre naturali, il Kenaf (K.E.F.I. – kenaf ecofibers Italia) e il Caruà (Università di Campina Grande –Brasile).
- Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) – PETER HOLLAND
- Ecoflex®-BASF
- Polietilene graffato con anidride maleica (PE-g-MA) – Agricola Imballaggi
- Polietilene a bassa densità (LDPE) – BASELL
- L'Etanolo in soluzione acquosa con una concentrazione del 99,8% in peso è stato fornito dalla Fluka
- Amminopropiltriethossi-silano (APS) fornito dalla Sigma Aldrich.

2.2 Metodi di caratterizzazione

Prove di resistenza a flessione

La resistenza a flessione è stata misurata utilizzando un dinamometro *Instron 4505* 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.

Analisi termogravimetrica

La stabilità termica dei campioni è stata monitorata attraverso prove condotte con un Thermogravimetric Analyzer (DuPont Instruments 951) che consente di registrare la perdita di peso in funzione della temperatura. I campioni sono stati riscaldati rapidamente fino a 70° C, uno step isoterma di 1 ora è stato eseguito per favorire l'eliminazione di acqua in atmosfera inerte (azoto), di seguito è stata condotta una rampa di temperatura da 70 °C a 600°C con velocità di 10°C /min, in aria.

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.

Prove di assorbimento e desorbimento

Al fine di studiare l'affinità del composito all'acqua, sono state eseguite misure di assorbimento e desorbimento di acqua.

Le prove sono state effettuate seccando preliminarmente i campioni a 80°C sotto vuoto per 72 ore e inserendoli successivamente in essiccatore contenente acqua (100% di umidità). Il peso è stato misurato in funzione del tempo, mediante rapide pesate, sino al raggiungimento di un andamento quasi stazionario.

Gli stessi campioni sono stati inseriti poi in essiccatore contenente gel di silice, al fine di rendere l'ambiente privo di umidità. I campioni sono stati pesati fino al raggiungimento di un andamento quasi stazionario rispettando gli stessi intervalli di tempo, allo scopo di definire la loro capacità di assorbimento e desorbimento di umidità.

SEM/EDS

Per visualizzare la differente superficie delle fibre (ripulita dalle impurità, in seguito alla funzionalizzazione), sono state effettuate prove di *microscopia a scansione elettronica (SEM, Philips XL 20 Series)*.

Termocamera ad infrarossi

La distribuzione della temperatura delle microcapsule inserite nei campioni, è stata misurata attraverso la termocamera FLIR SYSTEMS, Thermo Vision TM A 40 M Researcher, avente una sensibilità termica di 0,08 °C , un sensore raffreddato microbolometro IR FPA, una lunghezza d'onda di 7,5-13 µm, un range di misurazione che

va da 40 a 2000 °C, una velocità di acquisizione 1/50s, un'immagine con risoluzione di 320x240 pixels.

CAPITOLO III

PARTE SPERIMENTALE

PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

3.1 Procedura sperimentale

Matrice naturale

I derivati della soia sono disponibili commercialmente in varie forme che differiscono dal punto di vista chimico per il contenuto proteico.

La proteina isolata dalla soia (SPI) contiene il 90% di proteine e il 4% di carboidrati, la proteina concentrata della soia (SPC) contiene il 70% di proteine e il 18% di carboidrati, la farina di soia (SF) contiene il 55% di proteine ed il 32 % di carboidrati. La nostra procedura di realizzazione della resina prevede l'utilizzo della polvere di SF.

Poichè la polvere di SF è largamente utilizzata come ingrediente per la produzione di mangimi animali, in quanto rappresenta una delle fonti principali di proteine vegetali, per il reperimento del materiale ci siamo rivolti ai mangimifici campani.

Il mangimificio Liverini sito a Telese (BN) ci ha fornito 10 kg di farina di soia macinata senza buccia, contenente il 44% di proteine; si è proceduto alla macinazione fine della farina poichè la granulometria risultava essere non idonea per il nostro scopo.

Processo di produzione della resina

La farina di soia (SF) (25g), parzialmente solubile in acqua, è stata mescolata con acqua distillata nella proporzione di 1:9 (SF: acqua); la dispersione di SF è stata tenuta in agitazione per 15 minuti in un becker dotato di agitatore magnetico. Successivamente è stata aggiustata l'acidità della soluzione con l'aggiunta di pastiglie di NaOH, portando il pH dal valore leggermente acido di circa 6.64 a 11.

La dispersione SF è stata tenuta in agitazione a temperatura ambiente per 15 minuti e successivamente per altri 30 min ad una temperatura di 70° C [12].

Sono stati aggiunti quindi 10 ml di soluzione di GA (utilizzato come agente “cross-linkante”), per iniziare la fase di “pre-cura”. Con la reazione di cross-link, la viscosità della miscela aumenta velocemente.

Il glicerolo è stato utilizzato come plasticizzante, per rendere la resina meno fragile. Pertanto è stato aggiunto in quantità pari al 15% rispetto al peso della SF.

Produzione del composito

Per la realizzazione dei compositi, è stata preferita una distribuzione random delle fibre della lunghezza di 0,5 cm, all'interno della matrice. Ciò è stato ottenuto miscelando la resina pre-curata con le fibre, in una proporzione del 40% e 60% di fibra rispetto alla resina, in un miscelatore (Rheocord EC della HAAKE, NJ) a T ambiente.

Una delle problematiche maggiori, connesse all'ottenimento del manufatto finale è data dalla presenza di acqua nella resina CSF che determina problemi di instabilità dimensionale sia durante la fase di pressatura sia sul prodotto finito, a seguito di ritiri volumetrici dovuti al suo desorbimento. [13-16]

Il composito è stato lasciato seccare all'aria per circa tre giorni, e successivamente pressato ad una temperatura di 120°C, in una pressa idraulica ATS , per 45 minuti, di cui:

- 10 min a 120°C a 40 atm,
- 1 min 120°C a 0 atm,
- 30 min 120°C a 50 atm,
- 4 min 0°C a 50 atm;

in modo da ottenere dei provini quadrati delle dimensioni di 6,5 cm × 6,5 cm × 0,35 cm.

(Figura 22)

Figura 22: Provini quadrati delle dimensioni di 6,5 cm×6,5 cm×0,35 cm .



3.2 Polimeri di sintesi

Produzione del composito

La seconda tipologia di campioni, è stata realizzata caricando differenti matrici polimeriche di sintesi con le fibre naturali.

In particolare sono stati realizzati tre differenti compositi utilizzando come matrice rispettivamente PHBV, Ecoflex® e la blend LDPE/ PE-g-MA, (di cui 95% LDPE e 5% PE-g-MA).

In una prima fase, dopo aver tenuto i materiali in stufa per 48 ore ad una temperatura di 80°C sotto vuoto, i polimeri sono stati miscelati con le fibre naturali (kenaf e carò, 0,5 cm, in una proporzione del 40% e del 60%), utilizzando un miscelatore (Rheocord EC della HAAKE, NJ), ad una temperatura di 190°C per 15 min.

Il composito ottenuto è stato sminuzzato e successivamente pressato ad una temperatura di 190°C, in una pressa idraulica ATS, per 10 minuti, di cui:

- 4 min a 190°C a 0 atm;
- 3 min 190°C a 50 atm;
- 30 sec sfiato;
- 5 min 190°C a 100 atm;

in modo da ottenere dei provini quadrati delle dimensioni di 6,5 cm×6,5 cm×0,35 cm.

CAPITOLO IV

RISULTATI E DISCUSSIONE

SUI

COMPOSITI TERMOINDURENTI

4.1. Prove di assorbimento di umidità sulle fibre

Le fibre naturali sono, come noto, in grado di assorbire e rilasciare una certa quantità di umidità; il loro utilizzo come rinforzo per compositi ha reso necessaria una preliminare valutazione della capacità igro-assorbente sia del Kenaf che del Caroà.

In *figura 23* sono riportate le curve relative all'assorbimento di acqua (espresso in peso) registrato nell'arco di 60 ore a temperatura ambiente e 100% di umidità.

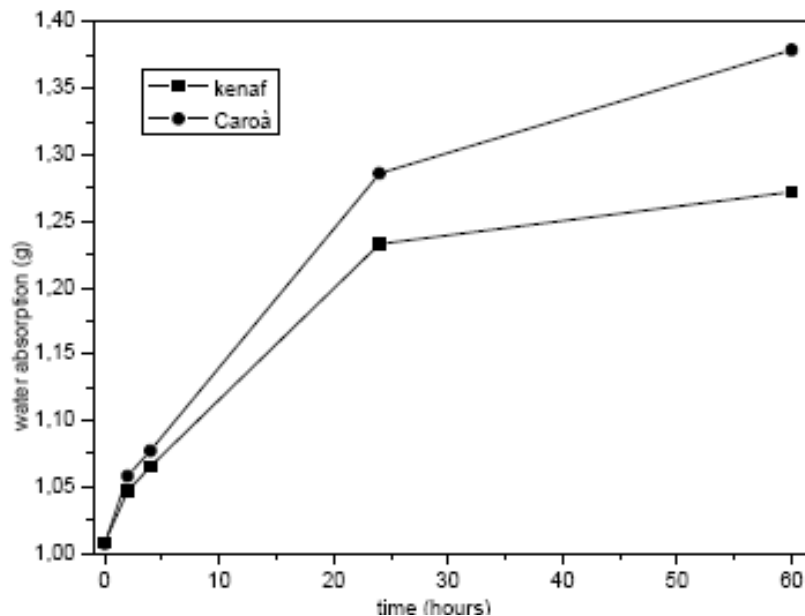


Figura 23: andamento dell'assorbimento di acqua nel tempo per le fibre di Kenaf e Caroà

E' possibile mettere in evidenza che il Caroà assorbe una maggiore quantità di acqua rispetto al Kenaf, a parità di peso iniziale. Questo comportamento potrebbe essere legato alla presenza di un più elevato numero di gruppi idrofilici nella struttura vegetale del Caroà.

4.2 Prove di assorbimento sui compositi a matrice naturale

I compositi aventi come matrice la resina di soia e rinforzati con le fibre naturali sicuramente risultano sensibili all'umidità, pertanto sono state effettuate prove di assorbimento e desorbimento di acqua su campioni contenenti il 40% di fibre di Kenaf.

I campioni seccati in stufa ad una temperatura di 80 °C sono poi stati posti in un contenitore chiuso, in condizioni di umidità del 100%, e pesati ad intervalli regolari sino al raggiungimento di un andamento quasi stazionario; gli stessi campioni sono stati successivamente posti in un contenitore privo di umidità e pesati periodicamente.

Un analogo procedimento è stato condotto in parallelo su un campione di gel di silice commerciale e su un campione di composito rivestito con un primer isolante e il confronto dei risultati ottenuti è riportato nelle *figure 24 e 25*, relative rispettivamente all'assorbimento e al desorbimento.

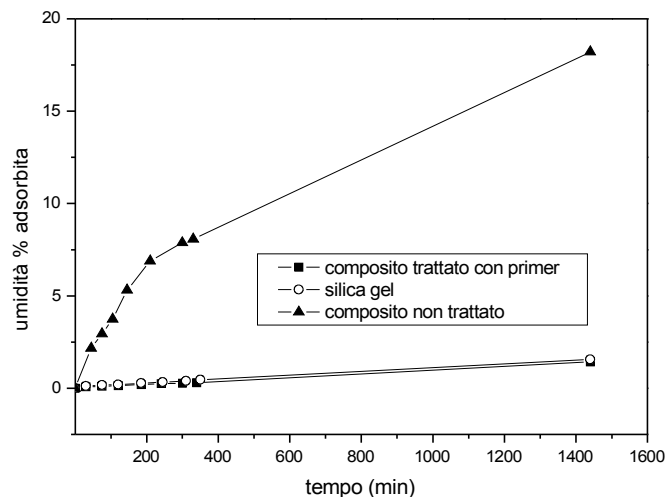


Figura 24: andamento dell'assorbimento di acqua nel tempo per i compositi di soia con fibre di kenaf, trattati con primer, non trattati con primer e gel di silice

Risulta evidente che i campioni non trattati subiscono un aumento di peso pari al 18% incamerando in 24 ore una discreta quantità di acqua che però sono in grado di rilasciare totalmente in sole 72 ore a temperatura ambiente se posti in ambiente secco.

Nel caso del gel di silice e dei campioni trattati con primer, il comportamento in ambiente umido è diverso, infatti l'acqua assorbita in 24 ore si riduce fino al 1,4% in peso e ne viene rilasciata solo la metà in 72 ore.

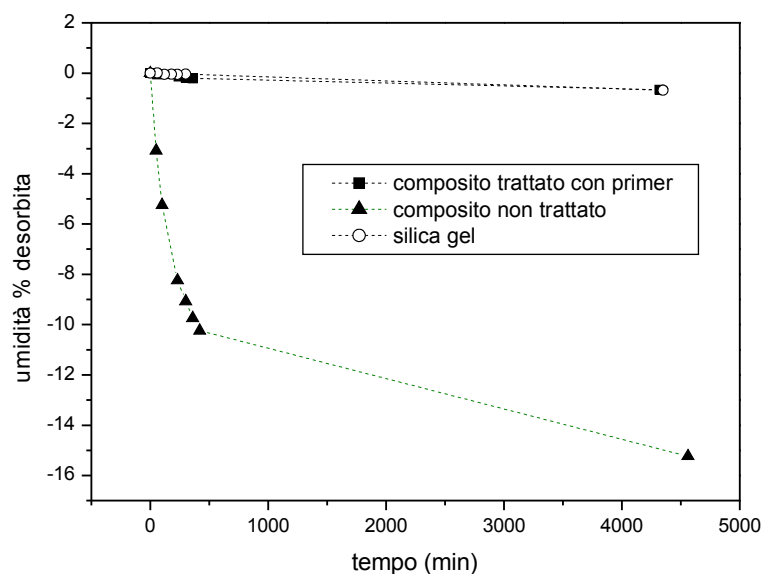


Figura 25: andamento del desorbimento di acqua nel tempo per i compositi di soia con fibre di kenaf, trattati con primer, non trattati con primer e gel di silice

Dal confronto del comportamento in ambiente umido e secco è possibile concludere che il composito a matrice di soia in assenza di primer isolante funziona come una “spugna”, è in grado cioè di inglobare acqua e poi rilasciarla a temperatura ambiente, senza necessità di trattamento termico.

Questa caratteristica risulta vantaggiosa anche rispetto al gel di silice che in genere viene riscaldato per allontanare l'acqua che ha assorbito per deumidificare l'ambiente.

4.3. Caratterizzazione meccanica dei compositi di resina di soia

Resistenza a flessione

La proprietà meccaniche dei compositi a base di resina di soia, plasticizzati con glicerolo e non plasticizzati, sono state valutate mediante prove di resistenza a flessione; sono stati analizzati un numero significativo di provini e i valori medi risultanti sono riassunti in tabella 1.

Kenaf (%peso)	Sforzo a flessione	
	(MPa)	
	0%gly	15%gly
44	24.5±5.8	7.0±0.4
58	19.5±1.2	13.7±3.4
Caroà (%peso)		
44	27.4±6.1	9.6±0.4
58	30.3±7.1	21.4±4.6

Tabella 1- Sforzo a flessione per i compositi a base di resina di soia, plasticizzati con glicerolo e non

I dati confermano l'azione plasticizzante del glicerolo che riduce significativamente il valore della resistenza a flessione(Figura 26). [17-22]

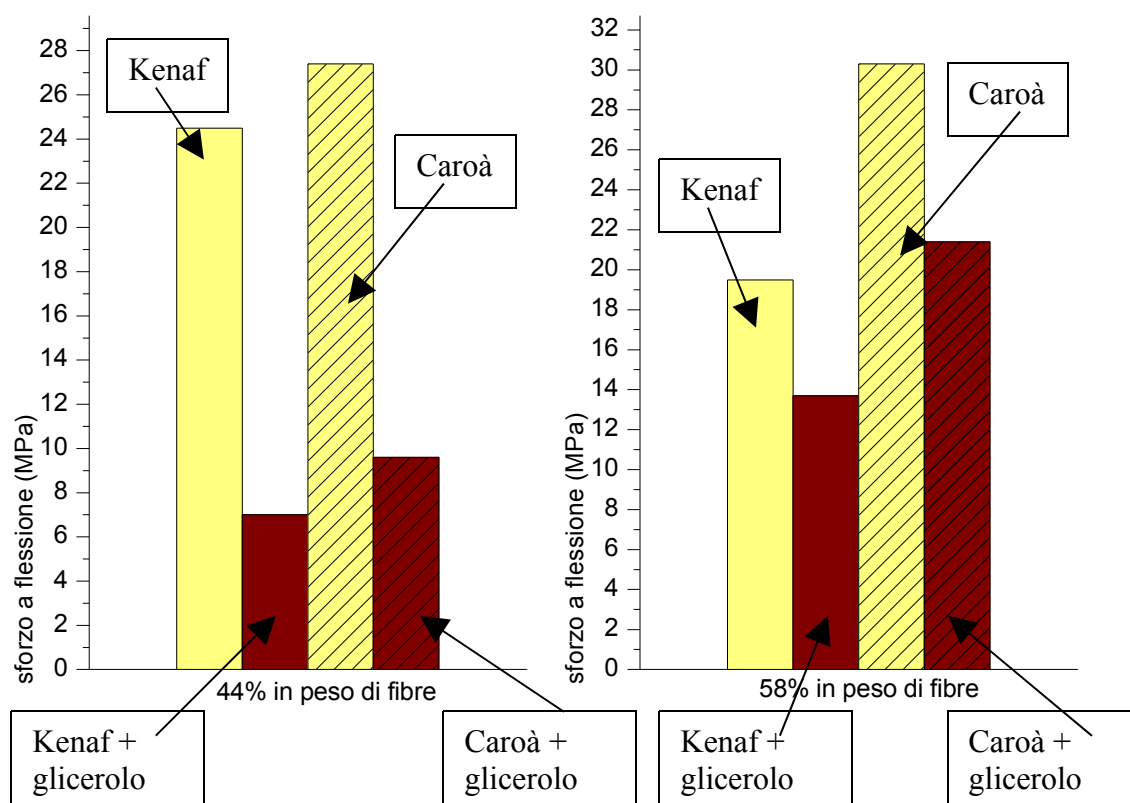


Figura 26:-Andamento dello sforzo a flessione per i compositi a base di resina di soia, plasticizzati con glicerolo (rettangolo marrone) e non (rettangolo crema)

4.4. Analisi Termica dei compositi di resina di soia

In *figura 27* sono riportate le curve termogravimetriche dei compositi rinforzati con il 60% in peso di fibra e la resina tal quale.

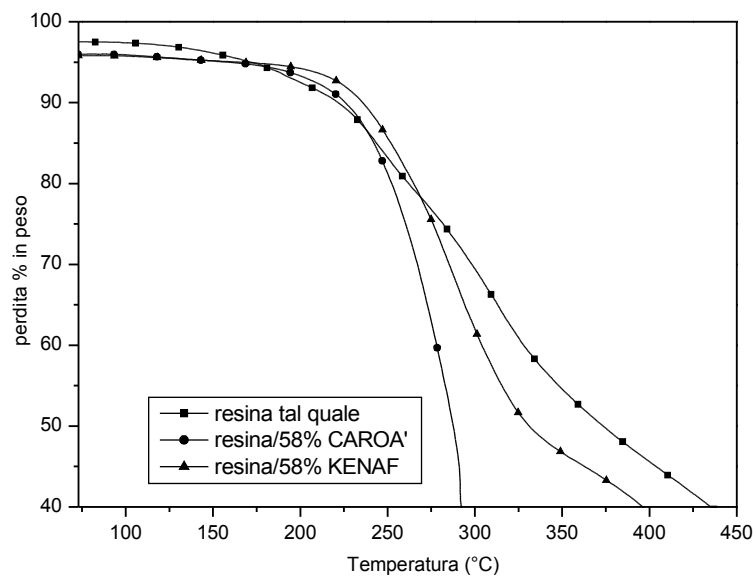


Figura 27: curva termogravimetrica dei compositi di soia

I compositi sono stabili fino a 200°C mentre la resina inizia a manifestare fenomeni degradativi a temperature più basse. In particolare fino a 300°C la presenza delle fibre naturali ostacola la diffusione dell'ossigeno rallentando il processo degradativo.

A partire da 300°C si ha un'inversione di comportamento tra compositi e resina in quanto una volta innescato il processo di combustione delle fibre questo si propaga più rapidamente.

4.5 Termografia

La termografia è una delle tecniche usate per “vedere l’invisibile”. Come deriva il nome, descrive (suffisso - *grafia*) la distribuzione della temperatura (prefisso - *termo*) superficiale per rilevare la struttura o il comportamento di ciò che si trova sotto la superficie.

La termografia all’infrarosso invece permette un’analisi senza necessità di contatto, con i vantaggi che ne derivano.

I campi di impiego della termografia sono molteplici e gli esempi più importanti riguardano i controlli non distruttivi (NDT), la diagnosi medica, l’edilizia civile ed industriale, l’industria aerospaziale, la sicurezza.

Questa tecnica è stata da noi utilizzata per valutare il gap termico mostrato dalle mattonelle a base di resina di soia ottenute aggiungendo nella fase iniziale di produzione della resina il 20% in peso rispetto alla *SF* di microcapsule a cambiamento di fase (PCMs).

In *figura 28* sono riportati i fotogrammi relativi al processo di riscaldamento e raffreddamento dei campioni, leggibili in termini di cambiamento cromatico associato alle variazioni di temperatura. Nello specifico, la temperatura più bassa è rappresentata dal colore verde, fino al rosso, corrispondente alla temperatura più alta.

I campioni (con e senza PCMs) sono posti inizialmente ad una temperatura di 20°C (step.1), a seguito del riscaldamento fino a 33°C, si vede che quello contenente le microcapsule (lato sinistro-colore arancio) arriva con ritardo alla temperatura fissata (step 2), questo perché le microcapsule assorbono una certa quantità di calore nel processo di fusione della cera di paraffina.

Nello step 3 sono visibili i campioni alla medesima temperatura di 33,7°C (colore rosso), da cui parte la fase di raffreddamento: il campione additivato raggiunge con ritardo la temperatura di 13,5°C (step 4-persistenza colorazione arancio) in virtù del carattere esotermico del processo di solidificazione della paraffina.

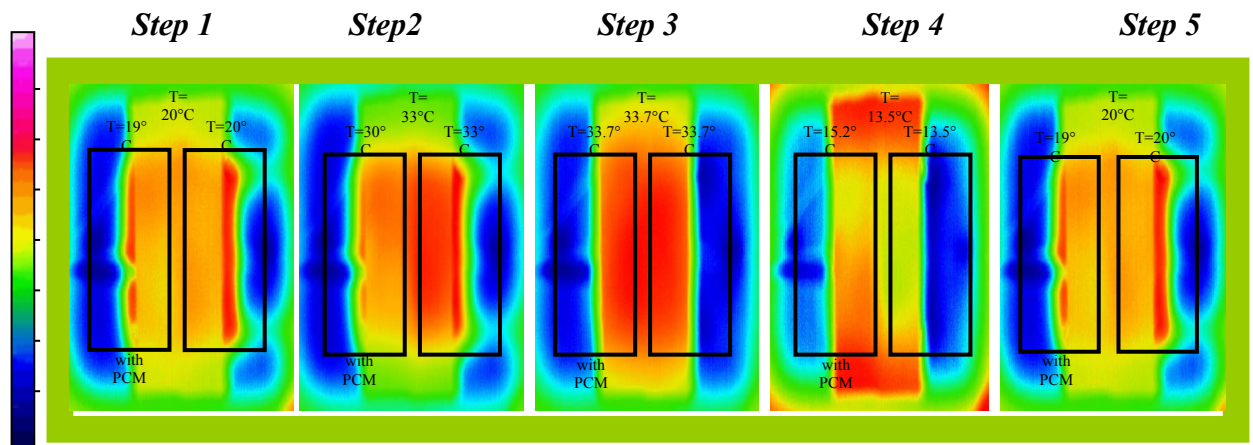


Figura 28: Fotogrammi registrati mediante termografia IR

L'effetto termico aumenta in maniera proporzionale alla quantità di microcapsule, pertanto è possibile modulare la quantità di PCM da impiegare al fine di raggiungere le caratteristiche di termoregolazione utili per ambienti interni.

In tal modo i pannelli termoregolanti sarebbero capaci di assorbire il calore quando la temperatura esterna è più alta, assicurando così un maggiore refrigerio all'interno dell'ambiente, e rilasciarlo a tempo debito, quando la temperatura esterna risulta essere più bassa rendendo l'ambiente più confortevole.

CAPITOLO V

RISULTATI E DISCUSSIONE

SUI

COMPOSITI TERMOPLASTICI

5.1 Funzionalizzazione fibre

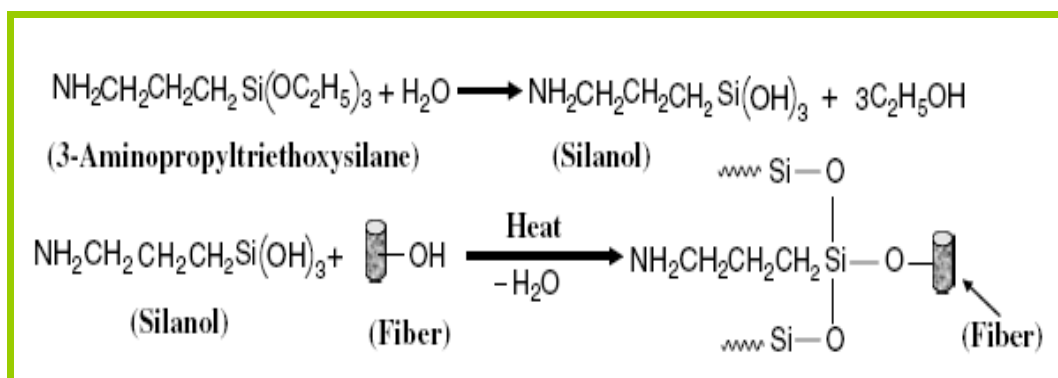
In una seconda fase si è proceduto alla funzionalizzazione delle fibre per aumentare l'adesione tra la matrice ed il rinforzo.

Nella prima procedura effettuata 150 gr di fibre kenaf sono state immerse in una soluzione di NaOH (con una concentrazione del 5% in peso rispetto al volume d'acqua), per tre ore a temperatura ambiente.

Successivamente le fibre sono state lavate ripetutamente con abbondante acqua controllando il pH della soluzione.

Infine le fibre sono state posizionate su un letto sospeso, per 24 ore a temperatura ambiente, al fine di favorire l'allontanamento dell'acqua residua.

Nella seconda procedura 150 gr di fibra kenaf sono state immerse in una soluzione composta da 800 ml d'acqua distillata, 1200 ml di etanolo e 5 g di acido cloridrico. 7.5 g di APS sono stati sciolti nella soluzione, la reazione è stata condotta per circa due ore a temperatura ambiente al fine di consentire l'introduzione dei gruppi silano sulla superficie esterna della fibra.



Successivamente le fibre sono state lavate ripetutamente con acqua distillata, controllando che il pH della soluzione risultasse neutra. In fine le fibre sono state asciugate in stufa, ad una temperatura di 80°C, sotto vuoto per 24 h.

5.2 Analisi SEM/EDS sulle fibre funzionalizzate

Al fine di incrementare l'interazione fibra matrice, il Kenaf è stato trattato chimicamente e per verificare l'efficacia del trattamento superficiale sono state eseguite analisi di microscopia a scansione elettronica (SEM).

In *figura 29* sono osservabili (**a**- fibra tal quale, **b**- fibra trattata con NaOH, **c**- fibra funzionalizzata con APS) le superfici delle fibre trattate prive impurità.

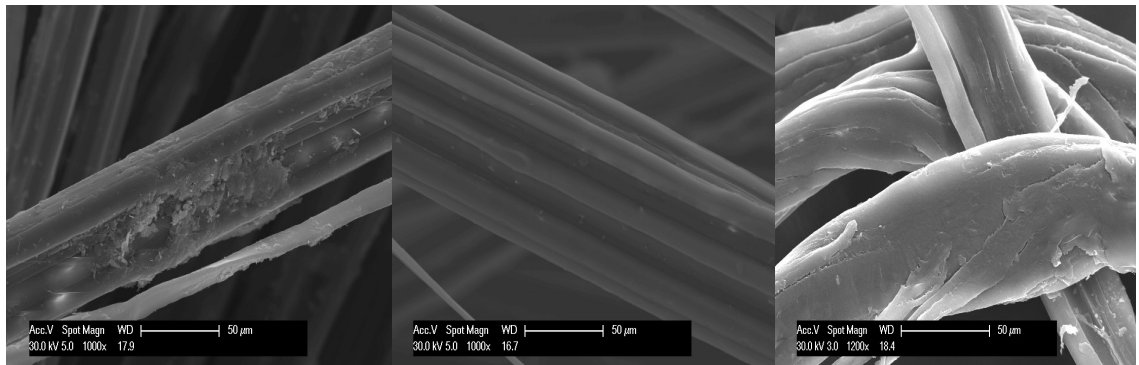


Figura 29: immagini SEM superficie fibre di Kenaf

a- Fibra non trattata

b- Fibra trattata con NaOH

c- Fibra funzionalizzata con APS

L'analisi SEM della fibra funzionalizzata con APS (*figura 30*) ha confermato la presenza di aggregati di agente silano distribuiti sulla superficie, la cui identità chimica è rivelata dall'indagine EDS (*figura 31*) (si nota il segnale del Si).

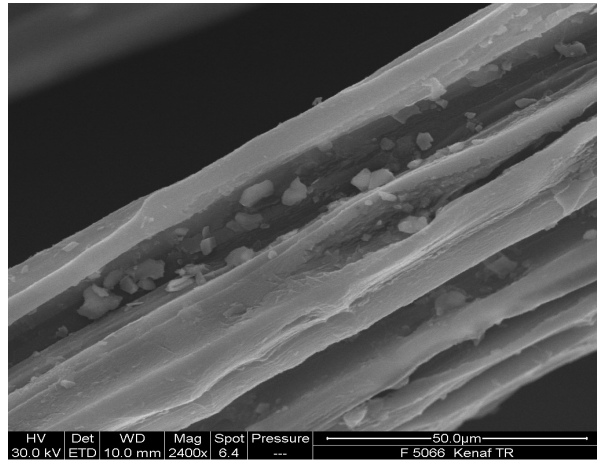


Figura 30: Fibra Kenaf funzionalizzata con APS

Label A: Kenaf TR area estesa

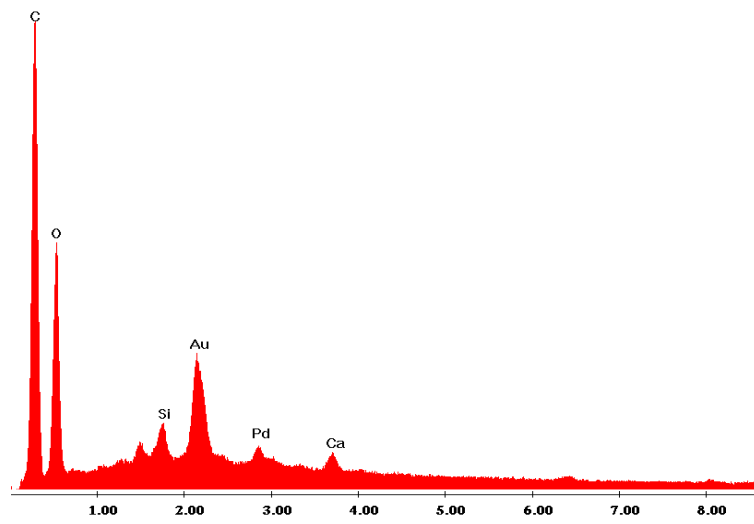


Figura 31: Analisi EDS fibra Kenaf funzionalizzata con APS

Polimeri termoplastici caricati con fibre non trattate

Per il PHBV, (figura 31) si può vedere come la matrice bagna molto bene le fibre a differenza dell'Ecoflex per il quale non si nota una significativa quantità di polimero residuo sulla superficie. (figura 32)

Nel caso dell'LDPE l'adesione superficiale è praticamente nulla. (figura 33)

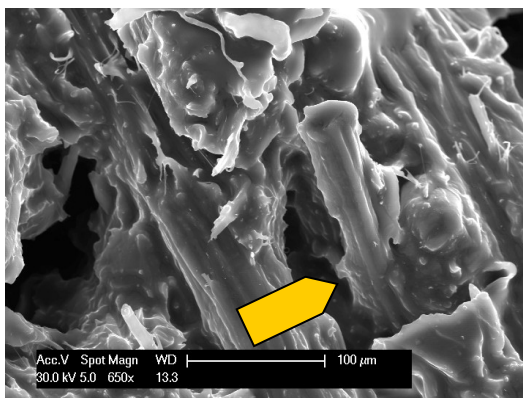


Figura 31 PHBV

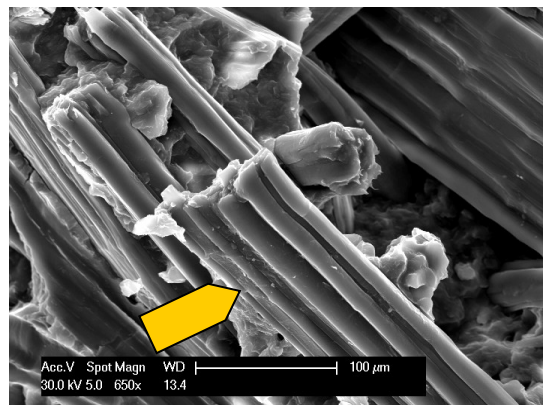


Figura 32 ECOFLEX

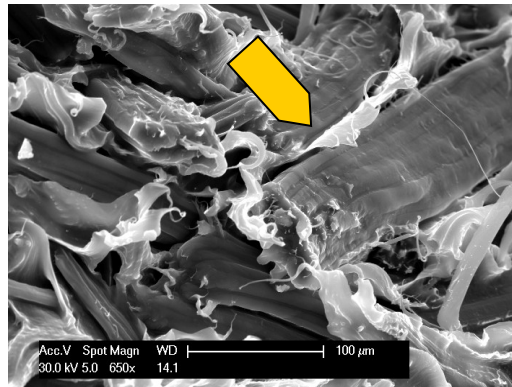


Figura 33 LDPE/PE-g-MA

Polimeri termoplastici caricati con fibre trattate con NaOH

A seguito del trattamento con alcali il numero di gruppi polari sulla superficie della fibra ha favorito l'interazione all'interfaccia con il PHBV (figura 34), mentre ha provocato un decremento di adesione con le matrici di LDPE ed Ecoflex.(figura 35-36)

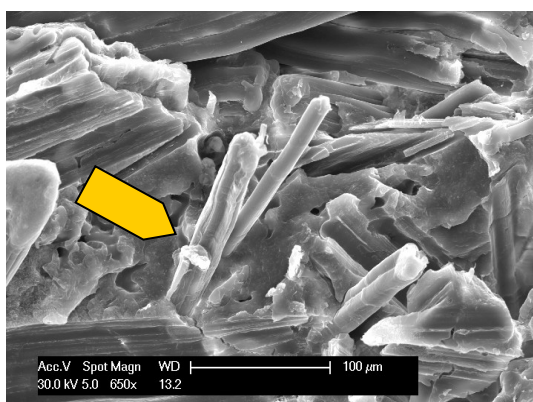


Figura 34 PHBV

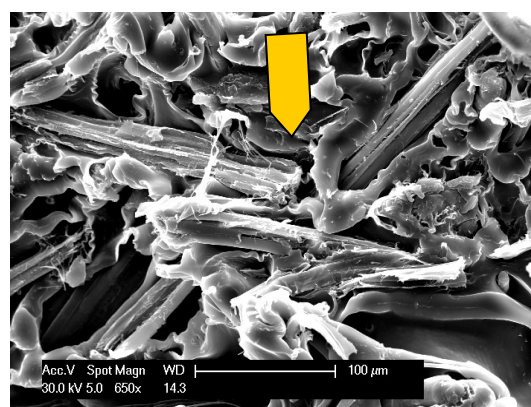


Figura 35 ECOFLEX

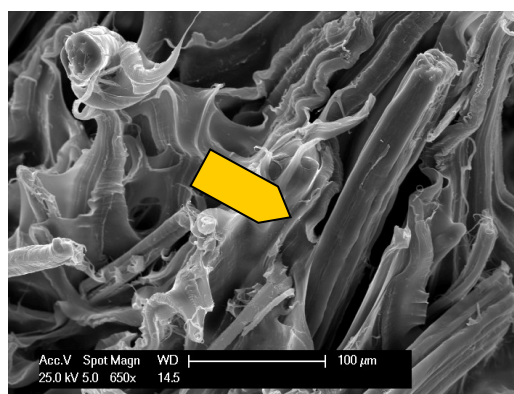


Figura 36 LDPE/PE-g-MA

***Polimeri termoplastici caricati con fibre funzionalizzate
con gruppi silano***

Dalle immagini SEM si vede che l'introduzione di gruppi silano non influenza la quantità di PHBV capace di bagnare il Kenaf (*figura 37*), mentre ha sicuramente un effetto positivo sull'adesione del LDPE alle fibre. (*figura 39*)

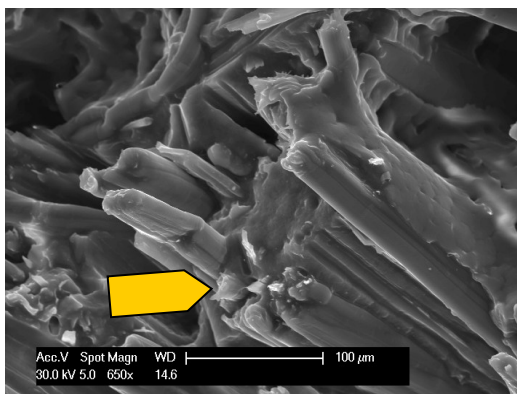


Figura 37 PHBV

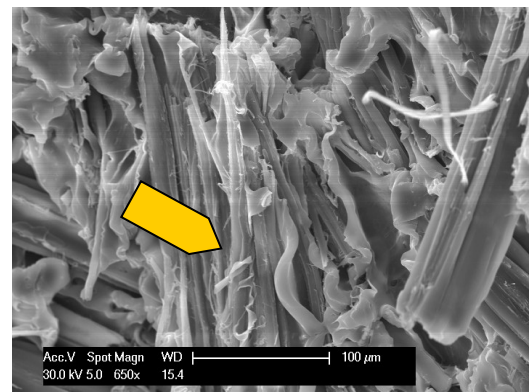


Figura 38 EcoflexV

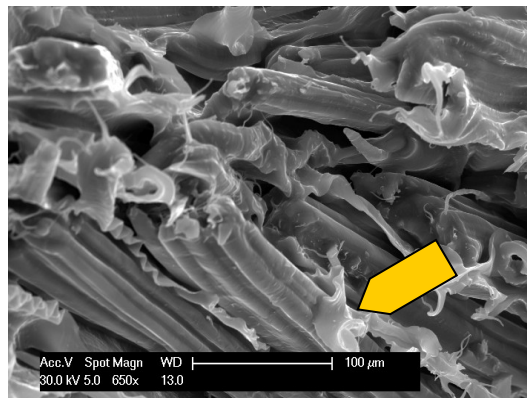


Figura 39 LDPE/PE-g-MA

5.3 Analisi Termica

Mediante analisi termo gravimetrica è stata valutata la resistenza alla temperatura dei compositi termoplastici e al tempo stesso si è verificato l'esatto contenuto di fibra del materiale.

Nel caso del PHBV (*figura 40*) la matrice inizia a perdere peso intorno ai 250°C, mentre la fibra di Kenaf inizia a degradare verso i 310°C; si vede come il contenuto effettivo di fibra si discosta dal valore nominale di un 10%.

Il composito a base di LDPE (*figura 41*) invece mostra un andamento inverso, in questo caso infatti la fibra inizia a degradare prima della matrice che presenta una spalla di inizio decomposizione intorno ai 420°C.

Per l'Ecoflex (*figura 42*) fibra e matrice hanno temperature di degradazione molto prossime per cui non è possibile separare i contributi dei due processi.

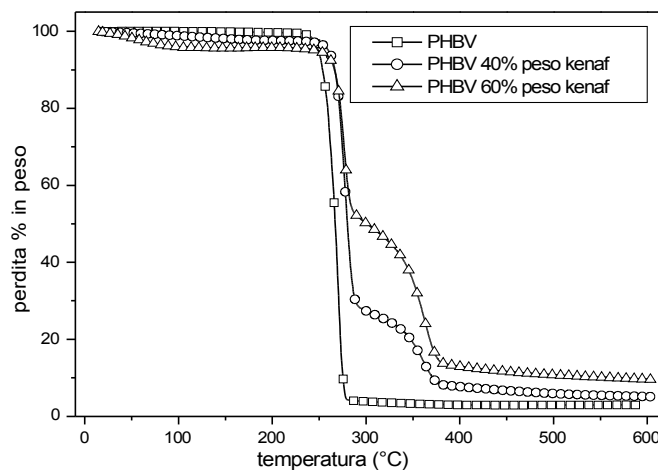


Figura 40: curve termo gravimetriche dei compositi a base di PHBV

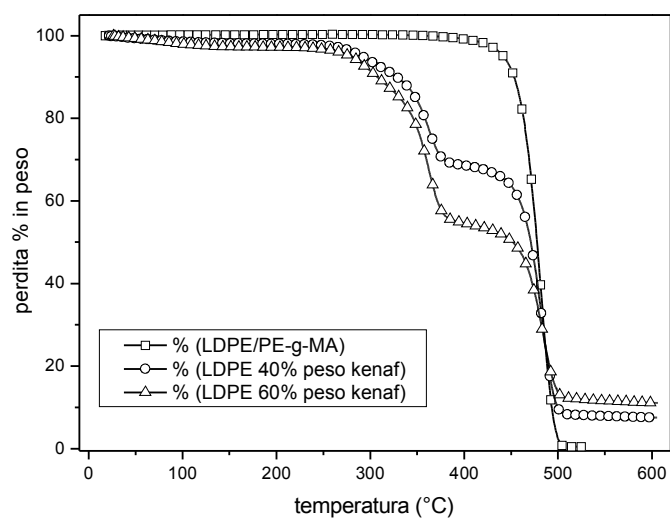


Figura 41: curve termo gravimetriche dei composti a base di LDPE

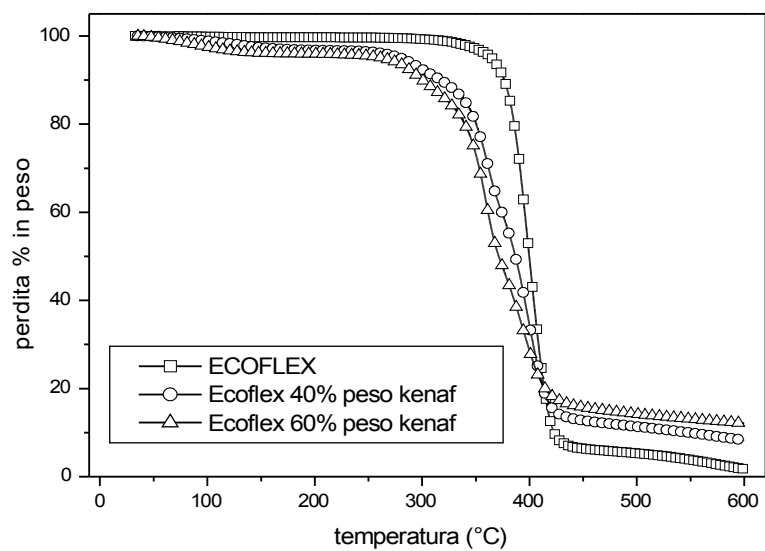


Figura 42: curve termo gravimetriche dei composti a base di Ecoflex

5.4 Caratterizzazione meccanica dei compositi termoplastici

Resistenza a flessione e impatto

Le prove meccaniche sono state eseguite su un numero significativo di provini e i valori medi risultanti sono stati riportati nelle tabelle 2, 3 e 4

Campioni	LDPE/PE-g-MA Rottura a flessione (MPa)	PHBV Rottura a flessione (MPa)	Ecoflex Rottura a flessione (MPa)
Matrice non caricata	a	$28,2 \pm 1,1$	a
40%Kenaf tal quale	$12,82 \pm 1,2$	$16,66 \pm 4$	$9,61 \pm 1,05$
60%Kenaf tal quale	$8,72 \pm 0,8$	$14,8 \pm 3,5$	$6,01 \pm 0,51$
40%Kenaf trattata con NaOH	$8,15 \pm 0,15$	$22,24 \pm 2,02$	$16,75 \pm 1,5$
60%Kenaf trattata con NaOH	$12,12 \pm 2$	$16,35 \pm 0,35$	$14,6 \pm 0,95$
40%Kenaf trattata con APS	$9,2 \pm 3,9$	22 ± 2	$15,9 \pm 1,22$
60%Kenaf trattata con APS	$10,63 \pm 4,26$	$18,65 \pm 3,15$	$17,7 \pm 0,2$

a: non si verifica la rottura del campione

Tabella 2: confronto rottura a flessione dei compositi termoplastici

Campioni	LDPE/PE-g-MA Rottura ad impatto (KJ/m2)	PHBV Rottura ad impatto (KJ/m2)	Ecoflex Rottura ad impatto (KJ/m2)
Matrice non caricata	a	0,85 ± 0,15	a
40%Kenaf tal quale	6,85 ± 0,62	2,25 ± 0,32	9,61 ± 1,05
60%Kenaf tal quale	4,16 ± 0,28	1,7 ± 0,10	6,01 ± 0,51
40%Kenaf trattata con NaOH	8,90 ± 1,83	2,53 ± 0,5	10,85 ± 0,03
60%Kenaf trattata con NaOH	5,02 ± 0,53	2,43 ± 0,8	6,93± 0,01
40%Kenaf trattata con APS	6,87 ± 1,21	2,23 ± 0,24	9,00 ± 0,75
60%Kenaf trattata con APS	4,11 ± 0,8	1,75 ± 0,56	7,18 ± 0,10

a: non si verifica la rottura del campione

Tabella 3: confronto rottura a impatto dei compositi termoplastici

Per quanto riguarda la resistenza ad impatto, la natura della fibra e il tipo di test d'impatto sono fattori critici ai fini dell'aumento o diminuzione della resistenza. La ragione plausibile per la riduzione del valore ad impatto dei compositi rispetto alle matrici tal quali potrebbe essere la ridotta deformazione plastica dell'Ecoflex e del LDPE in presenza delle fibre di cellulosa più rigide. Per il PHBV invece l'aggiunta di fibre

incrementa le proprietà ad impatto dei compositi rispetto alla matrice tal quale in virtù della buona adesione interfacciale.

Campioni	Modulo a flessione (MPa) LDPE/PE-g-MA	Modulo a flessione (MPa) PHBV	Modulo a flessione (MPa) ECOFLEX
Matrice non caricata	341,6 ± 31,0	1280 ± 120	67 ± 2
40%Kenaf tal quale	1043 ± 20,5	3605 ± 230	713,0 ± 36,2
60%Kenaf tal quale	1766 ± 7,4	4020 ± 370	938,7 ± 23,1
40%Kenaf trattata con NaOH	766,0 ± 62,6	3810 ± 410	602,0 ± 30,3
60%Kenaf trattata con NaOH	1428,5 ± 172,5	4380 ± 520	784,2 ± 23,3
40%Kenaf trattata con APS	1205 ± 64	3785 ± 290	577,4 ± 43,8
60%Kenaf trattata con APS	1382,5 ± 23,5	4442 ± 140	992,4 ± 30,2

Tabella 4: confronto moduli a flessione dei compositi termoplastici

Per le matrici polimeriche tal quali, i moduli a flessione sono rappresentativi della loro capacità intrinseca di deformazione plastica e il PHBV è il meno flessibile. Per i compositi contenenti il 40% di fibra non trattate i moduli a flessione aumentano significativamente in tutti i campioni, come prevedibile in virtù del rinforzo fibroso.

Confrontando i moduli dei compositi a base di LDPE contenenti il 40% di fibre trattate e non trattate, si può notare che il trattamento con alcali provoca una riduzione del modulo a causa della scarsa adesione della matrice non polare alla fibra di Kenaf.

D'altra parte, la funzionalizzazione con gruppi silano migliora l'adesione superficiale portando ad un lieve incremento del modulo.

Per i compositi di PHBV i moduli a flessione misurati confermano il fatto che esiste una discreta interazione all'interfaccia tra matrice e fibra, come si vede dalle immagini SEM, questo per entrambi i trattamenti applicati.

Per l'Ecoflex invece è l'uso delle fibre non modificate a comportare un incremento delle caratteristiche a flessione, mentre i compositi contenenti il 40% di fibre trattate con soda o funzionalizzate con APS mostrano valori dei moduli più bassi a causa della scarsa adesione superficiale.

Inoltre si può dire che non c'è una significativa differenza di proprietà meccaniche usando il 40 o il 60% di fibre.

Prove di assorbimento per immersione

In vista di un possibile impiego dei compositi fibro-rinforzati come pavimentazione, è stato ritenuto utile valutare il comportamento dei nuovi materiali a diretto e prolungato contatto con l'acqua.

Dopo 7 giorni di permanenza in acqua, PHBV e LDPE hanno assorbito circa un 25% in peso di acqua, mentre l'Ecoflex prende il 14%.

I campioni sono stati sottoposti a caratterizzazione meccanica dopo 1 e 2 settimane di immersione, i risultati sono riportati in tabella 5

Non è stato possibile registrare nessun valore per la prova ad impatto in quanto la soglia di sensibilità dello strumento era superiore all'energia dissipata nella rottura del campione.

I dati relativi alle prove a flessione mostrano che non c'è differenza fra il comportamento meccanico dei provini dopo una o due settimane.

Poiché il PHBV e l'Ecoflex sono poliesteri biodegradabili, l'acqua penetra nella matrice e ne degrada la struttura, causando un decadimento del modulo e dello sforzo a rottura.

Essendo invece il polietilene a bassa densità idrorepellente, l'acqua assorbita resta nelle fibre preservando le caratteristiche meccaniche della matrice.

Campione	Modulo a flessione (MPa)	Sforzo a rottura (MPa)
PHBV (I settimana d'immersione in acqua)	1790 ± 279	$5,147 \pm 2,447$
PHBV (II settimana d'immersione in acqua)	1901 ± 264	$4,962 \pm 1,475$
LDPE (I settimana d'immersione in acqua)	$1023 \pm 90,8$	$13,51 \pm 1,2$
LDPE (II settimana d'immersione in acqua)	$979,4 \pm 54,1$	$12,43 \pm 1,53$
Ecoflex (I settimana d'immersione in acqua)	$447,2 \pm 63,1$	$12,75 \pm 2$
Ecoflex (II settimana d'immersione in acqua)	$470,9 \pm 57,3$	$12,55 \pm 1,93$

Tabella 5: proprietà meccaniche dei compositi termoplastici dopo immersione in acqua

CAPITOLO VI

APPLICAZIONI

Abitare in modo sano, ridurre il degrado ambientale oggi è possibile, il nostro progetto a tal proposito si pone un duplice obiettivo :

- ❖ *realizzare un'abitazione sana;*
- ❖ *ridurre l'impatto ambientale della costruzione.*

Sono due aspetti ben distinti ma nello stesso tempo perfettamente complementari, ormai necessari in un progetto architettonico, considerando l'evidente emergenza provocata da:

- *ambienti esterni* sempre più degradati e ostili,
- *ambienti interni* dai quali vorremmo la massima protezione e che invece si rivelano sempre più insidiosi e addirittura nocivi.

Una delle problematiche maggiori, rispetto alla progettazione d'interni, che è stata tenuta sempre ben presente, in questo nostro percorso progettuale, è stata la valutazione delle conseguenze nocive provocate dall'inquinamento interno, spesso determinate da un'errata scelta di materiali

Le insidie "storiche" dell'ambiente domestico (umidità, scarsa igiene, luce naturale etc) in epoca contemporanea si sono rapidamente estese ad un'ampia gamma aggiuntiva di fattori aggressivi, quali l'utilizzo di materiali tossici nella struttura edilizia e ancor più nell'arredo.

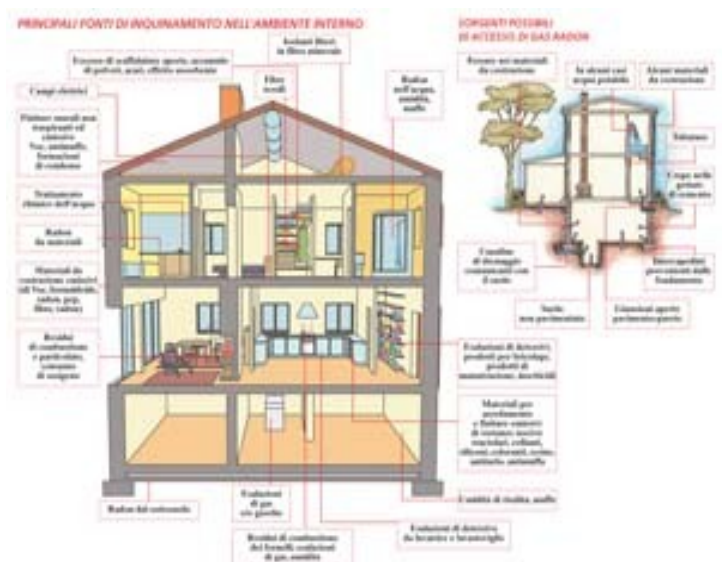
Questa realtà è emersa solo negli anni Settanta, quando alcune ricerche hanno dimostrato elevati livelli di tossicità negli ambienti interni.

Dato che le persone trascorrono il 90% dell'intera giornata in luoghi chiusi, la nocività di questi elementi è stata poi messa in relazione con sintomi di malessere e patologie molto comuni.

Questo inquinamento proviene da molti fattori:

- ❖ emissioni di sostanze nocive e tossiche dai materiali edili e dall'arredo,
- ❖ attività degli impianti, climatizzazione eccessiva, umidità o secchezza dell'aria,
- ❖ produzione di ioni positivi e di campi elettromagnetici da parte di apparecchi vari,
- ❖ inquinamento acustico e vibrazioni di elettrodomestici e automobili,
- ❖ uso di sostanze chimiche varie e di detergenti per la manutenzione della casa
- ❖ fumo di tabacco,
- ❖ presenza di microrganismi, muffe e antropotossine varie.

L'edificio, così come il suo spazio interno, è la risultante di un processo molto complicato di "investimento", che ha attinto a piene mani da "riserve" messe a disposizione dalla natura e dal mondo produttivo: energia diretta e indiretta, materiali, spazio, tempo, risorse di ogni genere.



Esso dovrebbe essere pensato per durare e per funzionare dando protezione e benessere senza richiedere consumi sotto forma di sprechi; anzi dovrebbe essere in grado di innescare anche meccanismi "anti-entropici" che riducano il degrado e rigenerino risorse: per esempio attraverso il recupero e il riutilizzo di materiali

“Non c'è buona architettura senza amore per la bellezza e comprensione della sua importanza, cultura umanistica e profondo interesse per la natura e per l'uomo, sperimentazione e continua ricerca.”

Obiettivi del progetto

Un progetto "ecologico" deve essere semplicemente un buon progetto, concepito e realizzato con cura e competenza in rapporto a obiettivi di qualità rispondenti a una serie di elementi di riferimento quali:

- ❖ utilizzo prevalente di materiali disponibili in grandi quantità, di tipo grezzo o che abbiano subito ridotti processi di lavorazione;
- ❖ flessibilità della concezione ai fini di possibili rimozioni, sostituzioni o integrazioni future, di ampliamenti o di facili cambi di destinazione d'uso;
- ❖ amicizia verso gli utenti intesa come assenza di barriere, di nocività e di insidie per gli utilizzatori, bellezza e comfort per le strutture (colori, forme, etc);
- ❖ massima durabilità e facilità di manutenzione;
- ❖ recuperabilità e riciclabilità dei materiali in seguito a demolizione.

Materiali e tecniche costruttive

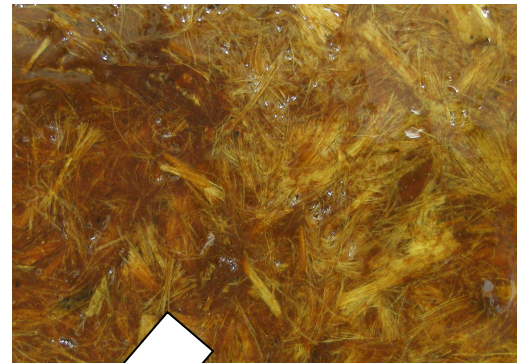


I criteri generali per progettare ecologicamente sono molto articolati e non sempre sono applicabili nella loro globalità.

Questo progetto ha visto l'evoluzione di due tipologie differenti di materiali (per origine e processo) sintetizzate in maniera differente e destinate ad un fine comune e cioè la realizzazione di manufatti d'arrendo a minimo impatto ecologico:

Ecco di seguito rappresentate alcune possibili applicazioni d'arredo:

materiale eco-compatibile a base di matrice naturale rinforzato con fibre di kenaf.



Libreria a vista costituita da:

- **pannellatura perimetrale**, , realizzata con materiale eco-compatibile a base di matrice naturale rinforzato con fibre di kenaf.
- **Ripiani e montanti**, realizzato con materiale eco-compatibile a base di resina polimerica di sintesi, rinforzato con fibre di kenaf.

Materiale eco-compatibile a base di resina polimerica di sintesi, rinforzato con fibre di kenaf.

La pannellatura realizzata con materiali compositi (costituiti da resina di soia e fibre di kenaf), oltre ad avere una funzione ecologica, in quanto ecocompatibile e riciclabile, una funzione estetica, in quanto essendo presenti, nel materiale, le fibre naturali, assume una particolare connotazione decorativa, essa ha anche una funzione di regolazione della temperatura e dell'umidità interna dell'ambiente.

Si è parlato in precedenza, dell'introduzione (sintesi del materiale) di un certa quantità di sostanze a cambiamento di fase, dette Phase Change Material-PCM, che possiedono la proprietà di cambiare il loro stato fisico da solido a liquido e viceversa in funzione della temperatura alla quale si trovano, ebbene tale inserimento renderebbe possibile la regolazione della temperatura dell'ambiente abitato, mantenendola entro un campo ottimale prefissato, grazie alla proprietà delle microcapsule di incamerare, conservare e poi rilasciare uniformemente il calore

L'insita capacità di questo materiale di assorbire e desorbire la stessa quantità d'acqua, in un determinato arco di tempo, fa sì che quest'ultimo possa essere utilizzato come stabilizzatore di umidità interna della casa, purché non sia stato effettuato precedentemente, su di esso, un trattamento isolante.



Figura 43

***Riproduzione ispirata al tavolo
realizzato dall'architetto
Eero Saarinen:
(Figura 43)***

- ***Ripiano***, realizzato con materiale eco-compatibile a base di matrice naturale rinforzato con fibre di kenaf.
- ***Piede***, realizzato con materiale eco-compatibile a base di resina polimerica di sintesi, rinforzato con fibre di

In questo caso (*Figura 43*) si è pensato di utilizzare i due materiali seguendo maggiormente quelle che sono le loro caratteristiche, e dunque il materiale composito termoplastico per la base e il materiale composito termoindurente per il piano d'appoggio, essendo il primo specificamente adatto alle trasformazioni di forma.



Figura 44

Scaffalature
(Figura 44-45)

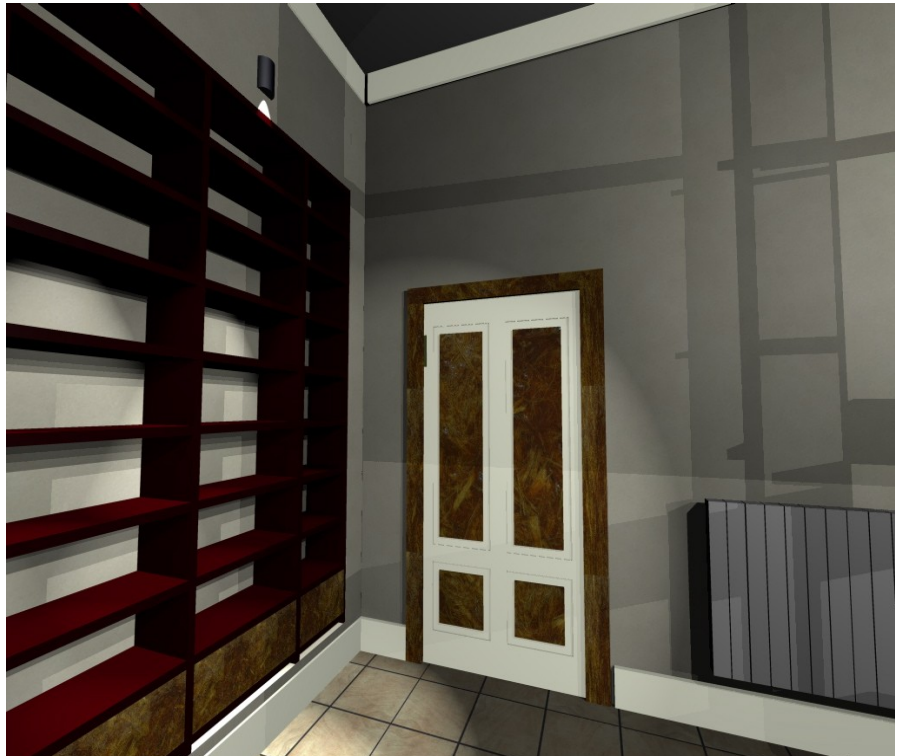
- ***Ripiano e Bugne,*** realizzati con materiale eco-compatibile a base di matrice naturale rinforzato con fibre di kenaf.
- ***Struttura centrale,*** realizzata con materiale eco-compatibile a base di resina polimerica di sintesi, rinforzata con fibre di kenaf.

Figura 45



Porta (Figura.46)

- ***Bugne***, realizzate con materiale eco-compatibile a base di matrice naturale rinforzato con fibre di kenaf.
- ***Struttura***, realizzata con materiale eco-compatibile a base di resina polimerica di sintesi, rinforzato con fibre di kenaf.



Le tecniche costruttive devono garantire

- Condizioni di traspirabilità e di dispersione dell'umidità
- migliore collaborazione degli elementi in funzione della stabilità e delle reazioni alle condizioni climatiche
- migliore applicazione dei materiali e delle associazioni per evitare sbalzi di temperatura e favorire il microclima interno
- abbattimento dell'impatto ecologico complessivo del costruito.

I materiali devono:

- essere il più possibile traspiranti, antistatici e igroscopici
- essere esenti da emissioni nocive, tossiche o radioattive
- comportare meno oneri possibili di tipo ambientale o sociale per: costi energetici elevati, estrazione problematica, nocività per i lavoratori, produzione inquinante, difficoltà di trasporto, eliminazione alla fine della vita utile, impossibilità di riciclaggio.

È' per tanto evidente che sia per la struttura della casa, sia per l'arredamento, in generale si può affermare che (qualora non si abbiano specifiche controindicazioni) i materiali naturali migliorano la qualità del clima interno perché sono antistatici, igroscopici e traspiranti, cioè evitano l'accumulo di cariche elettrostatiche e consentono la trasmigrazione dell'eventuale eccesso di umidità o la sua cessione quando l'ambiente è secco.

Questa funzione è ostacolata da tutti i materiali sintetici non traspiranti (che favoriscono il ristagno di umidità e il conseguente proliferare di batteri) ed elettrostaticizzano l'aria, attirando la polvere e aumentando il carico elettrico dell'ambiente.

Tuttavia, anche se naturali, va comunque evitato l'eccesso di materiali assorbenti specie per stanze in cui si fuma, in quanto la loro capacità di assorbire determina il successivo rilascio degli elementi inquinanti ("fleece factor").

Lo stesso effetto può essere causato dalla sovrabbondanza di scaffalature aperte, sulle quali si accumulano oggetti, libri, soprammobili che finiscono per diventare superfici di difficile pulizia e ad alto accumulo di polvere ("shelf factor").

Gli arredi devono essere sicuri, privi di spigoli pericolosi costruiti e trattati ecologicamente, le decorazioni essenziali, le vernici e le tappezzerie ecologiche.

Gli odori dei materiali, le proprietà dei colori, la qualità delle luci sono tutti importanti elementi di guida.

Ancora oggi l'handicap è evidente e gravemente penalizzante più a causa delle barriere culturali e psicologiche che di quelle fisiche e architettoniche.

Perciò il progettista sensibile, anche quando non costretto dalle normative, si dovrebbe porre il problema di progettare per "utenze allargate", cioè di ampliare i parametri della sua progettazione in modo da avvicinare il suo ambiente, il più possibile, alle esigenze di tutti, e non solo di molti.

Nel costume comune anziché progettare a misura d'uomo si progetta "a misura di imposizione legislativa", secondo le sole logiche del profitto e dell'ottenimento delle concessioni attraverso norme calcolate al limite inferiore della loro ammissibilità.

L'abitudine a progettare non secondo una cultura umanistica, ma in base a rapporti aeroilluminanti e dimensionali minimi consentiti, conduce ad ambienti che creano a molti difficoltà di relazione.

Invece, mentre pensa a uno spazio, il progettista non dovrebbe solo vederne gli aspetti estetici e funzionali minimi ma tentare di sentirlo e percepirlo in modo dinamico con tutti i sensi (tatto, udito, olfatto), muovendovisi all'interno e vivendolo con la mente prima ancora che con il fisico.

Creare progetti e ambienti "a misura d'uomo", infatti, significa non solo riferirsi alle dimensioni fisiche dell'essere umano, ma anche vedere lo spazio attraverso dimensioni percettive e sensoriali.

Per raggiungere questo obiettivo, più che leggi impositive serve cambiare l'impostazione del progetto, tenendo in considerazione che per "tutti" si deve intendere la popolazione nella sua interezza senza escludere le fasce deboli (bambini, anziani e disabili), e senza mettere in contraddizione le esigenze degli uni con quelle degli altri.

Progettare per "utenze allargate" crea infatti un ambiente amichevole per le categorie più deboli, ma può rendere l'ambiente più piacevole per tutti.



*"Immagini **sempre** l'Architetto, per una finestra una persona al davanzale,
per una porta una persona che la oltrepassi, per una scala una persona che
la discenda, una che la salga, per un portico una persona che vi sostì, per un
atrio due che vi si incontrino, per un terrazzo uno che vi si riposi, per una stanza
una che ci viva. (...) L'Architetto, per capire il suo mestiere bellissimo,
deve avere nei sensi le sue costruzioni, cioè prevederle e presentirle,
precollaudarle sotto tutte le immaginabili luci dei cieli (...)
e sotto tutte le incidenze del sole."*

Gio Ponti

CAPITOLO VII

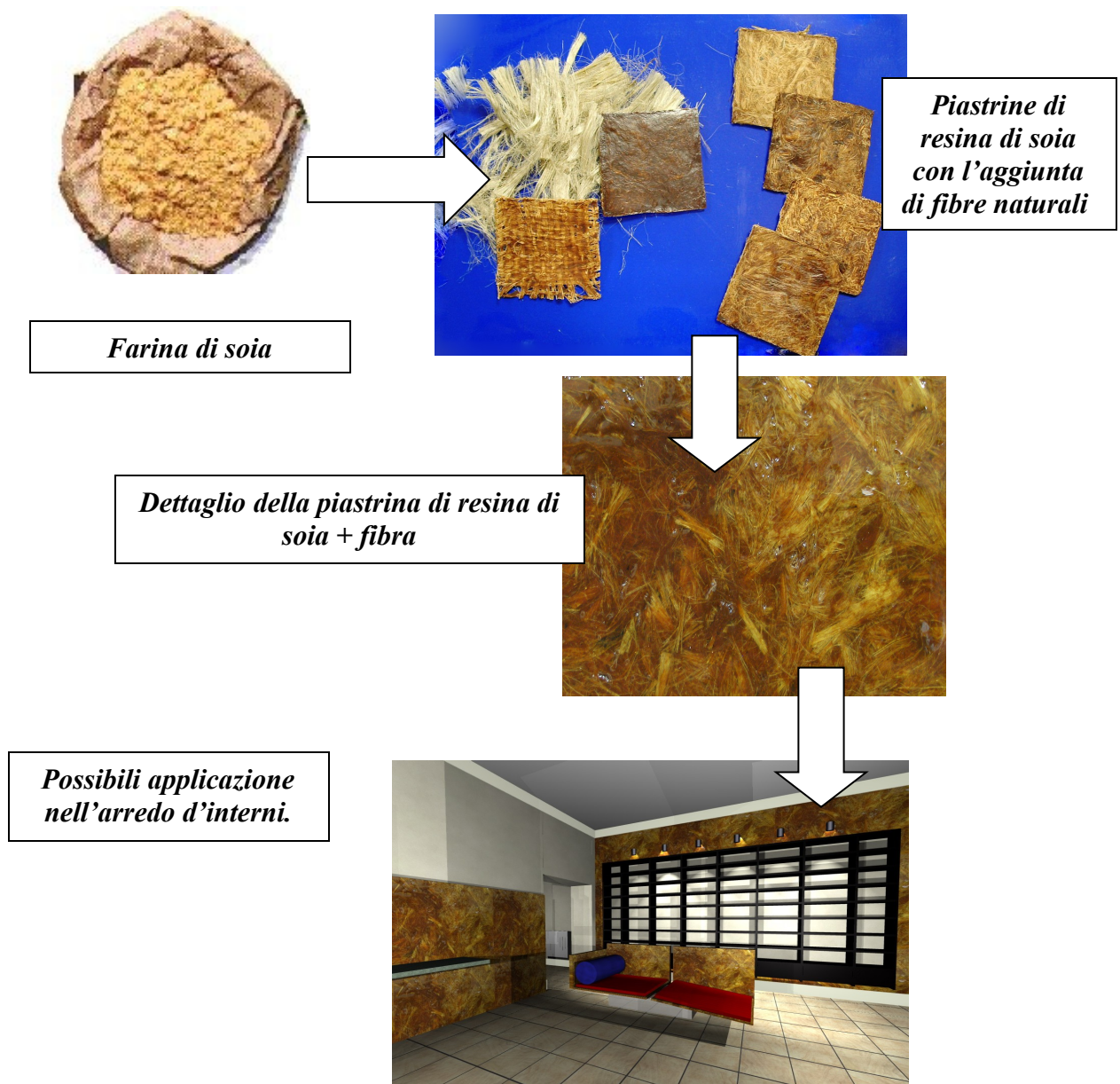
CONCLUSIONI

Il lavoro svolto in questo triennio, ha portato a dei risultati piuttosto soddisfacenti, rispetto agli obiettivi che ci eravamo posti.

L'intento era dunque quello di realizzare e testare compositi eco-compatibili che potessero in qualche modo affiancare, o in taluni casi, sostituire i materiali tradizionali.

Il primo sistema studiato è stato la resina di soia-fibrorinforzata.

Abbiamo preparato un materiale ex-novo partendo dalla farina di soia ottenendo così una resina completamente biodegradabile. Alla resina abbiamo aggiunto le fibre vegetali di Kenaf o di Caroà, riuscendo ad ottenere la giusta proporzione tra resina e fibre tale da conferire al materiali sufficienti caratteristiche di resistenza a flessione.



In seguito a prove di assorbimento di umidità effettuate in ambiente umido e secco, è stato possibile concludere che il composito a matrice di soia in assenza di primer isolante funziona come una “spugna”, esso è in grado cioè di inglobare acqua e poi rilasciarla a temperatura ambiente, senza necessità di trattamento termico, caratteristica che risulta vantaggiosa anche rispetto al gel di silice che in genere viene riscaldato per allontanare l’acqua che ha assorbito.

Questa importante caratteristica ci ha portati alla conclusione che il materiale in questione potesse avere nell’ambiente domestico un ruolo non solo estetico a parete, a soffitto o a pavimento (in presenza di trattamento con primer), ma anche funzionale (in assenza di trattamento con primer) riuscendo a regolare l’umidità interna dell’ambiente (*Figura 47*), mantenendola in un range ottimale.



Figura 47: esempio di possibile applicazione all'interno del tramezzo del pannello isolante.

Anche le prove termografiche effettuate sul campione, hanno dato risultati soddisfacenti: l’introduzione di una certa quantità di microcapsule a cambiamento di fase (PCMs) nella mescola fibra-matrice, ha conferito al materiale la capacità termoregolante.

L’effetto termico aumenta in maniera proporzionale alla quantità di microcapsule, pertanto è possibile modulare la quantità di PCM da impiegare al fine di raggiungere le caratteristiche di termoregolazione utili per ambienti interni.

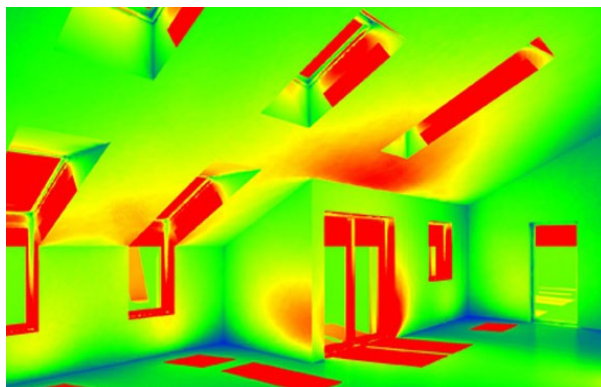


Figura 48: Questi materiali (sali o paraffine) possono accumulare o rilasciare una grande quantità di calore

In tal modo i pannelli termoregolanti sarebbero capaci di assorbire il calore quando la temperatura esterna è più alta, assicurando così un maggiore refrigerio all'interno dell'ambiente (*figura 48*), e rilasciarlo a tempo debito, quando la temperatura esterna risulta essere più bassa rendendo l'ambiente più confortevole.

La seconda tipologia di materiali testati nel corso di questo lavoro sono i polimeri di sintesi termoplastici: il PHBV, l'Ecoflex®, e LDPE.

L'obiettivo iniziale, anche in questo caso, era quello di riuscire ad ottenere un composito il più possibile biodegradabile, pertanto sono stati presi in esame due polimeri, il PHBV ed l'Ecoflex®, entrambi biodegradabili con un'origine, però, differente. Il PHBV, infatti, è prodotto a partire da una vasta gamma di micro-organismi, come parte del loro meccanismo di sopravvivenza; l'Ecoflex® è invece un copoliestere termoplastico lineare biodegradabile che si ottiene da prodotti di sintesi petrolchimica. Queste matrici sono state confrontate con LDPE, il più semplice dei [polimeri](#) sintetici ed il più comune fra le [materie plastiche](#) tradizionali.

I campioni sono stati testati sia tal quali, sia caricati con il Kenaf e anche in questo caso i materiali presi in esame, complessivamente, hanno raggiunto le caratteristiche attese.

Dagli studi effettuati risulta che il PHBV è un materiale piuttosto fragile, l'aggiunta di una certa quantità di fibra si è resa dunque utile per attribuire al materiale una maggiore elasticità e resistenza meccanica; l'Ecoflex® al contrario era eccessivamente deformabile, grazie all'introduzione delle fibre il materiale si è mostrato capace di mantenere meglio la forma.

Per realizzare questa seconda tipologia di compositi, le fibre sono state trattate con NaOH e funzionalizzate con APS per ottenere una maggiore adesione con la matrice.

In relazione alle prove meccaniche effettuate sui campioni si è visto che:

- PHBV, il trattamento della fibra con NaOH ha fornito dei livelli ottimali di adesione fibra-matrice, come confermato anche dalle indagini di microscopia elettronica a scansione (SEM), da cui risulta che il fenomeno di “pull-out,” per cui la fibra si sfilava dalla matrice, è meno frequente
- Ecoflex®, né il trattamento con NaOH, né la funzionalizzazione con APS sembra influire sulle proprietà di adesione fibra-matrice, che restano paragonabili a quelle delle fibre tal quali.

La maggior parte delle verifiche effettuate sui campioni ha fornito riscontri positivi, pertanto i sistemi studiati e testati nel corso di questo percorso possono essere considerati dei potenziali sostituti dei materiali tradizionali nell'arredo d'interni, con il vantaggio di poter essere completamente smaltiti, una volta completato il ciclo di vita dell'oggetto, senza effetti nocivi sull'ambiente.

I vantaggi derivano essenzialmente da vari fattori quali:

- la riciclabilità, mediante la trasformazione di nuovi prodotti utili;
- l'economicità rispetto ad altri materiali usati;
- le buone caratteristiche estetiche;

Mantenere queste caratteristiche riducendo, di contro, gli aspetti dannosi dello stesso è possibile mediante la sostituzione delle plastiche tradizionali con matrici polimeriche attualmente in commercio biodegradabili e biocompatibili.

Riferimenti Bibliografici

- [1] **Frank Lloyd Wright** (may 1914). *For the Cause of Architecture* , The Architectural Record .

- [2] **Enrico Cardellini** (aprile 2009). *L'architettura della Rivoluzione, La Capanna in Paradiso – archetipi nell'architettura e nell'arte.*

- [3] http://www.ilportaledelsud.org/di_Rauso_1.htm

- [4] **Marco Vitruvio Pollione**. *De Architettura*, op.cit libro III.

- [5] http://www.lettere.unipa.it/motore_web/file2.php/dicembre2006.pdf

- [6] <http://www.ecomind.clacsrl.it/index.asp?menu=11>

- [7] <http://www.architetturaedesign.it/index.php/2007/06/27/greensulate-formula-pannelli-isolanti-materiale-ecocompatibile.htm>

- [8] http://www.miniwatt.it/mwprojects/Domat-Ems_Altersheim.pdf

- [9] <http://www.ecologiae.com/plastica-verde-biodegradabile-dalle-piante/5095/>

- [10] <http://www.greenected.com/ecoflex%C2%AE>

- [11] <http://it.wikipedia.org/wiki/Polietene>
- [12] *S. Chabba, G.F. Matthews and A.N. NetraVali “Green Composites using cross-linked soy flour and flax yarns”, «Green Chem.», 2005,7, 576-581*
- [13] SHITIJ CHABBA, ANIL N. NETRAVAL “*‘Green’ composites Part 1: Characterization of flax yarn and glutaraldehyde modified soy protein concentrate composites*”, «Journal of Materials Science» 40 (2005) 6263–6273.
- [14] SHITIJ CHABBA, ANIL N. NETRAVAL “*‘Green’ composites Part 2: Characterization of flax yarn and glutaraldehyde/poly(vinyl alcohol) modified soy protein concentrate composites*”, «Journal of Materials Science» 40 (2005) 6275–628.
- [15] S. CHABBA, G.F. MATTHEWS AND A.N. NETRAVALI “*Green Composites using cross-linked soy flour and flax yarns*”, «Green Chem.», 2005,7, 576-581.
- [16] P.LODHA, A.N.NETRAVALI “*Characterization of Phytigel Modified Soy Protein Isolate Resin and Unidirectional Flax yarn Reinforced Green Composites*”, «Polymer Composites» - 2005.

- [17] WANJUN LIU , LAWRENCE T. DRZAL , AMAR K. MOHANTY , MANJUSRI
*“Influence of processing methods and fiber length on physical properties of kenaf
 fiber reinforced soy based biocomposites”*, «Composites: Part B» 38 (2007) 352–
 359.
- [18] *WANJIUN LIU, MANJUSRI PERASELAKAND, LAWRENCE T.
 DRZAL, AMAR K. MOHANTY “‘Green’ composites from soy based plastic
 and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation”, «Polymer» 46
 (2005) 2710–2721.*
- [19] GEORGE I. WILLIAMS and RICHARD P. WOOL *“Composites from Natural
 Fibers and Soy Oil Resins”* «Applied Composite Materials» 7: 421–432, 2000.
- [20] M..A. DWEIB , B. HU, H.W. SHENTON III , R.P. WOOL *“Bio-based composite
 roof structure: Manufacturing and processing issues”*, «Composite Structures» 74
 (2006) 379–388.
- [21] CRISTOPHER H.SCHILLING, PIOTR TOMASIK, DAVID S.KARPOVICH,
 BRUCE HART, JAGDEEP GARCHA AND PAUL T.BOETTCHER *“Preliminary
 Studies on Converting Agricultural Waste into Biodegradable Plastics –Part III:
 Sawdust”*, «Journal of Polymers and the Environment, » Vol.13, No. 2 April 2005.
- [22] H.-J. SUE, S.WANG AND J.-L. JANE *“Morphology and mechanical behaviour of
 engineering soy plastics”*, « Polymer» Vol.38 No.20, pp.5035 -5040, 1997.