



ALGHERO

PIANO DEL COLORE

CENTRO STORICO

RELAZIONI DI PROGETTO

PROGETTO COLORE

Materiali biocompatibili

SINDACO

Marco TEDDE

ASSESSORE

Maurizio PIRISI

DIRIGENTE

Arch. Vittoria LODDONI

FUNZIONARIO

Arch. Elisabetta BULLA

COORDINATORE

Arch. Giovannangela FLORIS

PROGETTISTI

Arch. Marco VISICARO

Geom. Andrea SALVATORE

Data
Settembre 2009

INDICE

1. <u>BIOARCHITETTURA E BIOEDILIZIA</u>	6
1.1. <u>BIOARCHITETTURA</u>	6
1.2. <u>BIOEDILIZIA</u>	7
1.2.1. <u>LE TECNOLOGIE</u>	7
2. <u>MATERIALI DA COSTRUZIONE ED INQUINAMENTO INDOOR</u>	8
2.1. <u>FONTI DI INQUINAMENTO</u>	8
2.2. <u>INQUINANTI EMESSI DA MATERIALI EDILI</u>	9
3. <u>I MATERIALI BIOECOLOGICI</u>	10
3.1. <u>CARATTERISTICHE FONDAMENTALI</u>	12
3.2. <u>LE BIOMALTE</u>	14
3.2.1. <u>CENNI STORICI</u>	14
3.2.2. <u>L' ARGILLA</u>	15
3.2.3. <u>IL GESSO E LA CALCE</u>	16
3.2.4. <u>LA POZZOLANA</u>	17
3.2.5. <u>IL CEMENTO</u>	18
3.3. <u>CONFRONTO FRA CALCE IDRAULICA E CEMENTO</u>	21
3.4. <u>L'ECO-CEMENTO</u>	23
3.5. <u>LA RISCOPERTA DELLA TERRA CRUDA</u>	36
3.6. <u>PRINCIPALI MATERIALI BIOECOLOGICI</u>	36
3.6.1. <u>MATERIALI PER FONDAZIONI E OPERE</u>	36
<u>STRUTTURALI</u>	
• Il cemento	
• Il ferro	
3.6.2. <u>MATERIALI PER LE MURATURE E OPERE</u>	37
<u>STRUTTURALI</u>	
• L'argilla	
• Il legno	
• Il cemento	

	• La pietra	
3.6.3.	<u>I MATERIALI PER LE FINITURE SUPERFICIALI</u>	40
	• La calce	
	• Il gesso	
3.6.4.	<u>I MATERIALI DA COPERTURA</u>	41
	• L'argilla	
	• Il metallo e il cemento	
3.6.5.	<u>I MATERIALI DA PAVIMENTAZIONE E DA RIVESTIMENTO</u>	41
	• Il legno e l'argilla	
3.7.	<u>I MATERIALI COIBENTI</u>	42
3.7.1.	<u>MATERIALI COIBENTI VEGETALI</u>	42
	• Il sughero	
	• I pannelli di legno mineralizzato	
	• I pannelli in fibra di legno	
	• Fibra di cellulosa riciclata	
	• Fibra di cocco, di iuta, di cotone, di lino	
3.7.2.	<u>MATERIALI COIBENTI DI ORIGINE ANIMALE</u>	44
	• Lana di pecora	
3.7.3.	<u>MATERIALI COIBENTI MINERALI</u>	44
	• Calcio silicato	
	• Vermiculite, perlite	
	• Fibre minerali: lana di roccia, lana di vetro, amianto	
	• Pitture, vernici, collanti	
3.7.4.	<u>I MATERIALI PER L'IMPERMEABILIZZAZIONE</u>	46
	• Argilla, cere, oli	
3.7.5.	<u>I MATERIALI PER LA DISTRIBUZIONE E LO SMALTIMENTO DELL'ACQUA</u>	46
	• Argilla, acciaio	
3.8.	<u>IL CONFEZIONAMENTO DEI MATERIALI</u>	47

4.	<u>COIBENTAZIONE</u>	48
4.1.	<u>ISOLAMENTO TERMICO</u>	48
4.1.1.	<u>IMPORTANZA DELLA TRASPIRAZIONE</u>	49
4.1.2.	<u>ISOLAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE, PROBLEMI IGROMETRICI</u>	50
4.1.3.	<u>POLMONE IGROMETRICO</u>	51
4.1.4.	<u>COEFFICIENTE DI RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DI UN GAS (μ)</u>	52
4.2.	<u>ISOLAMENTO ACUSTICO</u>	54
4.2.1.	<u>VALUTAZIONE APPROSSIMATIVA DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO</u>	54
4.2.2.	<u>ISOLAMENTO ACUSTICO DELLE PARETI</u>	55
5.	<u>IL TETTO BIOLOGICO</u>	56
5.1.	<u>I SISTEMI VENTILATI</u>	56
5.1.1.	<u>IL TETTO VENTILATO</u>	56
5.1.2.	<u>L'IMPORTANZA DELLA CIRCOLAZIONE D'ARIA</u>	57
5.1.3.	<u>MICROVENTILAZIONE SOTTOTEGOLA MACROVENTILAZIONE SOTTOMANTO</u>	58
6.	<u>IL LEGNO</u>	59
6.1.	<u>IL LEGNO NELL'ARCHITETTURA</u>	59
6.2.	<u>LA NATURA DEL LEGNO</u>	60
6.2.1.	<u>ANATOMIA DEL LEGNO</u>	61
6.2.2.	<u>LEGNO OMOXILO ED ETEROXILO</u>	63
6.3.	<u>IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE</u>	63
6.3.1.	<u>TIPOLOGIE DI LEGNO UTILIZZATE IN EDILIZIA: MASSICCIO E LAMELLARE</u>	64
6.3.2.	<u>LE ESSENZE E LE LORO CARATTERISTICHE</u>	64
	<ul style="list-style-type: none"> • Legni dolci • Legni forti 	
6.3.3.	<u>LE SPECIE LEGNOSE</u>	64

	<ul style="list-style-type: none"> • Abete bianco • Abete rosso • Pino silvestre • Castagno • Cipresso • Larice • Pioppo • Quercia 	
6.3.4.	<u>LEGNO LAMELLARE</u>	67
6.4.	<u>PREGI E CARATTERISTICHE DEL LEGNO</u>	68
6.5.	<u>COMPORAMENTO NELL' AMBIENTE</u>	68
6.6.	<u>PROPRIETA' FISILOGICHE CHE INTERESSANO IL RISANAMENTO</u>	70
6.7.	<u>LE CAUSE DEL DEGRADO DEL LEGNO</u>	71
6.7.1.	<u>DEGRADO FISICO - CHIMICO</u>	71
6.7.2.	<u>DEGRADO BIOLOGICO</u>	71
6.7.2.1.	<u>LESIONI DA FUNGHI</u>	72
6.7.2.2.	<u>LESIONI DA BATTERI</u>	73
6.7.2.3.	<u>LESIONI DA INSETTI</u>	73
6.7.3.	<u>DIFETTI</u>	75
6.7.3.1.	<u>IL RITIRO</u>	75
6.7.3.2.	<u>LE FESSURAZIONI</u>	76
6.7.3.3.	<u>LA CIPOLLATURA</u>	77
6.8.	<u>PRODOTTI E TECNICHE PER LA PRESERVAZIONE DEL LEGNAME</u>	77
6.8.1.	<u>LA DISINFESTAZIONE</u>	77
6.8.2.	<u>CONSOLIDAMENTO</u>	79
6.8.3.	<u>PREVENZIONE E PROTEZIONE</u>	80
7.	<u>IL SUGHERO</u>	82
7.1.	<u>IL CICLO DI PRODUZIONE</u>	82
7.2.	<u>COMPOSIZIONE</u>	83
7.3.	<u>PROPRIETA'</u>	84

7.4. <u>USI</u>	85
7.5. <u>SUGHERO BIOECOLOGICO</u>	85
7.5.1. <u>EFFETTI DEI COLLANTI SULLA NATURA DEL PANNELLO</u>	86
• DURATA NEL TEMPO	
• TOSSICITA'	
• RITIRO	
7.5.2. <u>I COLLANTI USATI E LA LORO PERICOLOSITÀ</u>	87
• COLLANTI TERMOINDURENTI	
• COLLANTI IN DISPERSIONE	
• COLLANTI TERMOFONDENTI	
• COLLANTI IN SOLVENTE	
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	89

1. BIOARCHITETTURA E BIOEDILIZIA

1.1. BIOARCHITETTURA

Biologia ed ecologia applicata all'architettura hanno dato origine ad una concezione dell'abitare e del costruire rispettosa dell'uomo e dell'ambiente.

Sotto il nome Bioarchitettura rientrano quelle conoscenze che permettono la realizzazione di un immobile in perfetta integrazione con l'ambiente e in armonia comunque con uno stile architettonico gradevole e vicino alle aspettative del committente.

Il progetto dovrà quindi considerare, oltre l'aspetto puramente architettonico dell'immobile, anche la sua perfetta integrazione con il contesto ambientale nel quale verrà inserito e l'effetto che questi causerà e viceversa il condizionamento che l'ambiente avrà sull'edificio.

Per un progetto bioedile ottimale sono indispensabili competenze specifiche di professionisti e tecnici quali il geologo, l'architetto, il paesaggista, il geopatologo, il botanico, il biologo e l'ingegnere impiantista.

L'architettura bioecologica cerca quindi di fare interagire l'edificio con gli elementi esterni.

Ovviamente si affronta il progetto anche dal punto di vista distributivo, dell'organizzazione funzionale e formale degli spazi, della scelta delle tipologie strutturali, valutando però contemporaneamente altri aspetti tra cui quello tecnologico, bioclimatico, impiantistico e geobiologico.

- Tecnologico, con lo studio delle soluzioni innovative biocompatibili ed il recupero delle tradizioni costruttive ormai dimenticate, con la classificazione dei materiali valutandone la loro qualità e prestazione anche in funzione dell'impatto sull'uomo e sull'ambiente.
- Bioclimatico, riguardante la progettazione di edifici forniti di sistemi solari passivi (come serre solari, sistemi di diffusione della luce naturale e della ventilazione, camini solari) con particolare attenzione rivolta all'orientamento della costruzione rispetto ai punti cardinali e ai venti dominanti.
- Impiantistico, con la completa revisione degli impianti tecnici dell'abitazione, prevedendo sistemi alternativi di autoproduzione dell'energia tramite lo sfruttamento del sole e del vento, il corretto uso dell'acqua potabile e di quella piovana, lo smaltimento dei rifiuti organici dell'abitazione.

- Geobiologico, riguardante lo studio delle interazioni dell'edificio con il campo magnetico terrestre e le onde telluriche.

1.2. BIOEDILIZIA

Bioedilizia vuol dire scienza dell'habitat a misura d'uomo, un concetto diverso dell'abitare, che considera la casa come qualcosa che cresce nel rispetto dell'uomo e dell'ambiente in armonia con tutto il resto della natura. I principi fondamentali di questa disciplina sono, in breve, una costante attenzione alla salute dell'uomo minacciata dalle influenze negative prodotte continuamente da sostanze e materiali usati nell'edilizia e nell'arredamento. La bioedilizia rivaluta l'importanza di circondarsi di materiali naturali che, praticamente, non si caricano elettrostaticamente, non creano barriere al vapore permettendo un salutare ricambio d'aria, regolano umidità e non emettono polveri o sostanze tossiche. Le sensazioni, quelle percezioni che avvertiamo quasi inconsciamente, sono state negli ultimi tempi rivalutate dalla ricerca scientifica. Per fare un esempio, il senso di disagio che avvertiamo quando entriamo in un locale umido, rappresenta un concreto ed importante avvertimento che il nostro organismo ci trasmette, per segnalarci la potenziale nocività dell'ambiente. Al contrario, le sensazioni gradevoli rappresentano un segnale di consenso inconscio.

E' una nuova scienza, interdisciplinare, che chiama in causa gli aspetti di tipo progettuale, specificatamente riferibili al benessere ed alla "vivibilità" degli ambienti, attraverso la coniugazione dell'ecologia e delle ricerche scientifiche d'avanguardia con il ritorno alle tecniche di costruzione tradizionali. In altri termini, la bioedilizia, partendo dal presupposto che la casa, un tempo rifugio dell'uomo dalle intemperie e dai nemici, può diventare oggi un fattore oggettivo di rischio, è volta a superare la dicotomia vecchio nuovo per conseguire con più avanzate tecniche di utilizzo razionale delle risorse, la migliore salvaguardia della salute.

1.2.1. LE TECNOLOGIE

Le tecnologie da adottare per realizzare un immobile compatibile con l'ambiente nel quale è inserito dovranno considerare numerosi aspetti:

- utilizzare materiali che per produzione e smaltimento siano il più naturale possibile;
- adottare sistemi atti a disperdere il gas radon se presente;
- utilizzare impianti che permettano la riduzione di prelievo di acqua potabile e l'impiego dove possibile di acqua piovana;

- adottare impianti che riducano al massimo la presenza di campi elettromagnetici;
- adottare tipologie costruttive tali da permettere una corretta permeabilità, traspirazione e ventilazione dell'edificio, tali da eliminare la formazione di muffe e condense;
- adottare impianti e tecnologie che riducano al massimo il fabbisogno energetico dell'edificio;
- integrare il fabbisogno energetico proprio del fabbricato con scelte di carattere progettuale;
- utilizzare nei prodotti di finitura coloranti e protettivi che non rilascino nell'ambiente interno/esterno sostanze inquinanti.

2. MATERIALI DA COSTRUZIONE ED INQUINAMENTO INDOOR

E' provato, che l'ambiente interno alle abitazioni è a volte assai più inquinato di quello esterno (inquinamento indoor). Le fonti inquinanti possono essere le più disparate e sono tali e tante, che negli Stati Uniti per determinate patologie degli abitanti si parla ormai di "sindrome da edificio malato" (Sick Building Syndrom).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità ipotizza che circa 1/3 degli edifici realizzati negli ultimi 30 anni, nei paesi industrializzati, presentino, per svariati motivi, problemi in grado di produrre disturbi agli occupanti.

2.1.FONTI DI INQUINAMENTO

Tra le numerose fonti di inquinamento negli ambienti chiusi (indoor), ricordiamo:

- fonti di combustione alimentate da petrolio, gas, cherosene, carbone, legno, (ad esempio caldaie, stufe, camini, piani di cottura, il fumo di tabacco...);
- materiali da costruzione ed arredamento di varie tipologie (materiali di isolamento contenenti amianto, vernici e solventi, tappezzeria, mobili di vario tipo o comunque materiali composti di legno compresso, etc.);
- prodotti per la pulizia e per la cura personale;
- materiali utilizzati per il bricolage domestico (colle, vernici...);
- condizionatori e deumidificatori; campi elettromagnetici; la presenza di radon, e l'inquinamento atmosferico esterno.

2.2. INQUINANTI EMESSI DA MATERIALI EDILI

Si calcola che circa il 40% dei materiali usati correntemente in edilizia è potenzialmente aggressivo. I materiali e i prodotti edilizi possono rilasciare i seguenti inquinanti:

- inquinanti di natura fisica: radon e prodotti di decadimento;
- agenti chimici: composti organici volatili e semivolatili, in particolare formaldeide, toluene, benzene, monossido di carbonio, biossido di carbonio, biossido di azoto, anidridi varie, ecc.;
- inquinanti biologici: funghi, muffe, batteri;
- fibre minerali naturali e artificiali: amianto, lana di vetro, lana di roccia.

I prodotti edilizi possono peggiorare le condizioni abitative secondo tre modalità:

- rilasciando direttamente sostanze inquinanti o pericolose (composti organici volatili, radon, polveri, fibre);
- adsorbendo e successivamente rilasciando sostanze presenti nell'aria e provenienti da altre fonti (per esempio da attività);
- favorendo l'accumulo di sporco e la crescita di microrganismi.

I materiali e i prodotti utilizzati in edilizia possono emettere composti altamente tossici (cancerogeni o allergeni), composti che possono causare sintomi generali, composti irritanti, composti che causano una inaccettabile qualità dell'aria (odori sgradevoli) e composti con sconosciute proprietà tossiche.

La grande diffusione, avvenuta in modo incontrollato negli ultimi cinquanta anni dell'industria chimica nel settore edilizio, ha portato a un uso generalizzato di materiali sintetici per gli arredi, le tappezzerie, le pavimentazioni e i componenti degli edifici. Tali materiali emettono nell'aria degli edifici sostanze chimiche che possono avere effetti rilevanti sulla salute delle persone o sul livello di comfort.

L'emissione di Composti Organici Volatili (VOCs) è più alta all'inizio della vita del prodotto e tende a diminuire notevolmente in tempi abbastanza brevi (da una settimana per i prodotti umidi, come vernici e adesivi, a sei mesi per altri composti chimici). Fa eccezione la formaldeide, che tende a presentare rilasci relativamente costanti per molti anni.

La concentrazione è funzione del rapporto tra superficie emittente e volume dell'ambiente e dei ricambi orari; la pericolosità è in funzione del/dei tipi di sostanza, delle sinergie con altre sostanze presenti nell'ambiente, della concentrazione e del tempo di esposizione.

La crescita di colonie di microrganismi dipende dal tipo di prodotto (naturale o sintetico) dalla percentuale di umidità contenuta, dalla qualità della superficie (porosità), dalle condizioni d'uso (attività svolte, presenza di altri prodotti), dalle condizioni microclimatiche.

I prodotti di origine naturale non trattati in superficie, come per esempio il legno massello o le fibre tessili vegetali o animali tendono a predisporre un ottimo habitat per la crescita di colonie di microrganismi.

La presenza di polveri e fibre nell'aria interna è normalmente legata al grado di usura dei prodotti come pavimentazioni, tappezzerie, intonaci, pitturazioni o alla possibilità che materiali fibrosi (come alcuni tipi di isolanti) entrino in contatto con l'aria interna. E' questo il caso, per esempio, degli isolanti fibrosi utilizzati in controsoffitti o nelle tubazioni del condizionamento.

In sintesi, i fattori influenzanti il rilascio di polveri e fibre sono:

- la composizione del prodotto;
- la validità del legante (matrice in cui sono contenute le fibre);
- il tipo e lo stato della finitura superficiale;
- l'età del materiale e lo stato di manutenzione;
- gli interventi sul prodotto (manipolazione, lavorazione).

La pericolosità è in funzione delle caratteristiche fisiche di polveri e fibre (dimensioni e quindi inalabilità), della concentrazione nell'aria e del tempo di esposizione. Gli studi più recenti sulla presenza di radon e dei suoi prodotti da decadimento negli ambienti confinati affermano che la responsabilità di tale presenza è attribuibile in gran parte al suolo e alle acque, mentre i materiali da costruzione partecipano alla dose per una piccola percentuale, tranne nei casi in cui gli edifici siano costruiti con materiali di origine vulcanica (tufo).

Anche in questo caso è importante valutare la quantità di superficie esposta potenzialmente pericolosa in relazione alla cubatura e ai volumi di ventilazione.

3. I MATERIALI BIOECOLOGICI

L'abitazione può essere considerata come la nostra terza pelle, così come la prima è la pelle vera e propria e la seconda è rappresentata dagli abiti indossati. Per garantire, quindi, la salute degli organismi che si trovano al suo interno, le pareti, il tetto, i pavimenti di un edificio, proprio come una pelle sana, devono poter respirare, permettere lo scambio d'aria, la libera uscita dei vapori e devono consentire, inoltre, il

passaggio delle onde cosmiche ed elettromagnetiche naturali e di tutte le energie essenziali per la vita.

I materiali utilizzati nella produzione edilizia influiscono sull'ambiente che li accoglie.

La produzione e il trasporto di questi materiali incide sul progressivo processo di esaurimento delle risorse esistenti sul pianeta e implica un non trascurabile consumo energetico.

Se la produzione edilizia odierna si è qualificata come una grande consumatrice di materie prime e di energia, per contro molti dei materiali naturali, usati tradizionalmente, come argilla, calce, gesso e pietra sono tuttora abbondanti e il legname, mediante una gestione equilibrata dello sfruttamento forestale, può fornire importanti contributi a un ripensamento in chiave ecologica del costruire.

Una corretta bioecologia dell'ambiente definito dalle "quattro mura della casa" richiede quindi materiali da costruzione naturali, assolutamente privi di emanazioni tossiche, di carica elettrostatica e di emissioni radioattive naturali.

Ma su quali basi si può definire un materiale ecologico o meglio ambientalmente sostenibile?

In estrema sintesi la sostenibilità di un materiale si definisce in relazione alla riduzione ai minimi termini del suo impatto ambientale riferito all'intero ciclo della sua vita. In altre parole, un materiale è tanto più sostenibile quanto minore è l'energia, da un lato, e la produzione di rifiuti, dall'altro, necessarie per l'estrazione delle materie prime di cui è fatto, per i cicli intermedi di lavorazione, per l'imballaggio, il trasporto e la distribuzione, per l'applicazione, l'uso e il consumo e per l'eventuale riutilizzo o riciclo, ed infine per la sua dismissione o smaltimento finale. La sostenibilità di un materiale va valutato quindi "dalla culla alla tomba" attraverso un'attenta analisi della sua 'biografia'.

Tali materiali debbono inoltre consentire, con la conservazione del campo elettromagnetico naturale e della naturale ionizzazione ambientale, la regolazione dell'umidità attraverso adeguate proprietà di traspirazione ed il mantenimento di opportuni equilibri delle caratteristiche termiche: accumulazione, coibenza e smorzamento. Sono quindi assolutamente esclusi i prodotti sintetici: poliuretano, polistirolo, derivati dalla formaldeide, resine, materiali contenenti solventi e così via; deve essere il più possibile ridotto il ricorso a complesse strutture in cemento armato mentre debbono essere privilegiati i mattoni, il legno, e l'argilla, la calce, il gesso, il sughero, le cere naturali, le fibre di lana e cotone, le fibre di cocco, i linoleum naturali etc..

I materiali naturali, inoltre, non producono inquinamento e vengono riassorbiti nei cicli naturali dell'ambiente, una volta terminata la loro funzione di materiali da costruzione; si tratta, quindi, di materiali che possono essere riciclati o riutilizzati con facilità.

3.1.CARATTERISTICHE FONDAMENTALI

La selezione dei materiali e delle tecnologie è in continua evoluzione e per questo la valutazione e la scelta di ogni materiale deve essere adeguatamente studiata dai tecnici per ogni specifica esigenza.

I materiali bioecologici devono possedere le seguenti principali caratteristiche:

- Naturali e prodotti con il minor impatto ambientale possibile in termini di degrado ed in termini di richiesta energetica per la loro produzione.
- La pietra è un materiale biocompatibile per eccellenza, usata sino dai tempi più remoti per la costruzione delle dimore umane, tuttavia alcuni tipi di pietra debbono essere evitati per la loro possibile emissione di radon (graniti, basaltina, sieniti, secondo recenti studi, sono quelle che mostrano maggiori livelli di attività). Da evitare inoltre è il tufo di origine vulcanica, mentre il tufo marino e sedimentario non mostra segni di attività radioattiva.
- Il laterizio è ancora più sicuro della pietra dal punto di vista biologico, non mostra alcun segno di emissioni pericolose, ha lunga durata, può essere recuperato e riciclato, ha caratteristiche tecniche eccellenti. Occorre solamente essere certi che nel processo di fabbricazione vengano rispettati alcune metodologie che consentano di non avere emissioni nocive nella fase di cottura (laterizi alveolati ottenuti mediante inserimento di polistirolo che alle alte temperatura brucia completamente provocando emissioni nocive). E' possibile comunque utilizzare per l'alveazione dei laterizi prodotti naturali di risulta (scorie agricole, cascami, etc.) che consentono di ottenere il medesimo risultato (anticamente si usava la paglia impastata con l'argilla). Il processo è però conveniente solo se si possono reperire nelle immediate vicinanze dello stabilimento di produzione i componenti volatili biologici in quantità sufficiente altrimenti i costi di trasporto incidono pesantemente sul prodotto finito.
- Per quanto riguarda i leganti sono da preferire le malte a base di calce, con particolare accortezza nella scelta delle calci, che devono essere prodotte con sistemi tradizionali, utilizzando calcari marnosi oppure un miscuglio di calcari puri ed argilla, con cottura a bassa temperatura, (900 gradi), per ottenere quindi

malte di minore resistenza a compressione ma di maggiore modulo elastico, che sembra proprio essere il segreto della longevità di tante costruzioni antiche.

- Il legno è un altro materiale che ha sempre accompagnato l'uomo fin dai tempi più remoti oggi però la sua aumentata richiesta non permette più di seguire le tecniche di stagionatura naturale, e così anche il legno massiccio viene sottoposto a trattamenti chimici necessari ad aumentarne la resistenza ai batteri ed all'umidità. Sono quindi da evitare legni trattati con impregnanti e biocidi che sono tutti a base di sostanze dannose per l'uomo (arsenico, composti fluorati PcB). Vanno usati, se possibile, legni stagionati naturalmente e, trattati con una soluzione calda di borace in acqua al 10% per la protezione contro gli insetti, ed utilizzate colle viniliche, o ancora meglio ridurre al minimo le colle adoperando le tecniche di giunzione a spina, infine se si desidera proteggere ulteriormente il legno, vanno usati trattamenti naturali come cera d'api in trementina, oppure gommalacca sciolta in alcool o altri trattamenti con componenti naturali non tossici attualmente facilmente reperibili in commercio.

Per quanto riguarda la protezione dai parassiti, evitare tutti i composti a base di DDT, idrocarburi, eccetera, dal momento che le loro emissioni nell'ambiente continuano per molto tempo.

E' preferibile usare legname rinnovabile, proveniente cioè da piantumazioni artificiali (faggio, rovere, pioppo, olmo, ecc.), al posto di essenze provenienti da importazione, sia per evitare l'incentivazione della deforestazione, sia perché i legnami importati subiscono trattamenti tossici all'origine che consentono al materiale di sopportare lunghi viaggi via mare senza subire alterazioni.

I pannelli in truciolato ed i compensati sono usualmente addensati con colle a base di formaldeide che, a diretto contatto con fonti di calore ed umidità viene rilasciata nell'ambiente. Le tecniche di incapsulamento, non appaiono del tutto sicure in quanto utilizzano resine alchidiche o poliuretatiche. Sarebbero quindi da usare truciolati o compensati incollati con colle meno tossiche.

- I pannelli isolanti realizzati con sughero o possibilmente fibre di legno provenienti da scarti di lavorazione.
- Le guaine impermeabilizzanti impermeabili all'acqua e permeabili al vapore.

3.2.LE BIOMALTE

Con il termine materiali da costruzione si intendono tutti quei materiali utilizzati per la costruzione e la ristrutturazione di edifici, per restauri di appartamenti e per piccoli lavori di muratura; essi si dividono in materiali cementanti e materiali inerti.

I materiali cementanti, quali ad esempio calce e cemento, sono quelli che servono a far aderire fra loro gli altri materiali da costruzione come ad esempio laterizi, metalli, etc; i materiali inerti, quali ad esempio sabbia e ghiaia, vengono utilizzati nella preparazione delle malte e del calcestruzzo. I materiali cementanti da costruzione, denominati anche leganti o agglomeranti, sono quei prodotti che, allo stato di polvere finissima, impastati con acqua, danno masse plastiche facilmente lavorabili capaci di indurire, reagendo con l'acqua, in tempi più o meno lunghi. In seguito a detta reazione si formano dei prodotti caratterizzati da elevata resistenza meccanica che, per alcuni di essi risulta di entità notevole.

I leganti si dividono in due categorie:

- leganti o cementanti aerei, che fanno presa ed induriscono soltanto all'aria (gesso e calce aerea);
- leganti o cementanti idraulici, che fanno presa ed induriscono sott'acqua (calci idrauliche e cementi).

I leganti aerei si impiegano per lo più impastati con acqua e sabbia, ed il prodotto così ottenuto prende il nome di malta, o solo con acqua, ed in questo caso prende il nome di pasta. I leganti aerei trovano impiego per lavori di rasatura, intonaci, preparazione di fondi, etc., raramente si utilizzano per la costruzione di elementi portanti; in ogni caso i manufatti costruiti con leganti aerei non resistono all'azione dell'acqua.

I leganti idraulici si impiegano generalmente in miscela con sabbia, ghiaia, pietrisco e acqua (calcestruzzo), per la costruzione di strutture aeree o sommerse, armate con acciaio e non; questi manufatti resistono indefinitamente all'azione dell'acqua e comprendono tutte le maggiori opere edilizie, portuali, stradali, etc.

- Leganti aerei. Appartengono ai leganti aerei il gesso e la calce aerea.
- Leganti idraulici. Appartengono a questo gruppo le calci idrauliche ed i cementi.

3.2.1. CENNI STORICI

I leganti aerei o idraulici vengono utilizzati per collegare tra loro elementi strutturalmente diversi, quali inerti, laterizi, pietre ed altro.

Il primo legante utilizzato nella storia costruttiva fu certamente l'argilla impastata con acqua e quindi stesa su intrecci di rami e giunchi per realizzare pareti di capanne e coperture delle stesse.

L'uomo aveva potuto constatare le proprietà dell'argilla capace di produrre, se impastata con acqua, un miscuglio plastico con capacità adesive, in grado di legare materiali sciolti e di indurire per essiccamento. L'uso dell'argilla è durato a lungo, soprattutto nell'edilizia rurale, anche in epoche recenti. Tuttavia per ottenere costruzioni solide ed elevate in altezza (soprattutto con pietre piccole o non squadrate) l'uso di leganti più tenaci era di fondamentale importanza, onde consentire di aggregare fra loro gli elementi delle murature e aumentarne la resistenza alla compressione; materiali più durevoli vennero perciò prodotti con trasformazioni di tipo chimico dovute, principalmente, alla cottura di rocce particolari.

I leganti preindustriali sono costituiti da gesso e calci; il loro uso non era limitato alle strutture portanti (malte e calcestruzzi), ma si estendeva ai rivestimenti (intonaci), alle decorazioni in rilievo (stucchi), alle pavimentazioni.

3.2.2. L'ARGILLA

L'argilla è una roccia sedimentaria poco coerente, plastica, di aspetto terroso, che può costituire enormi ammassi inglobanti rocce di altra origine.

I minerali principali presenti nelle argille sono, la montmorillonite, la vermiculite, e la caolinite. Nelle argille sono presenti anche quarzo, miche, feldspati, carbonati, ferro. Il rapporto fra la parte argillosa e la parte sabbiosa determina la "grassezza" dell'argilla. Più elevata è la parte argillosa vera e propria più elevata sarà questa "grassezza".

Le argille ricche in materiali argillosi e povere in ferro e metalli alcalino-terrosi come magnesio, calcio, bario, ecc. sono dette argille refrattarie perchè sono in grado di sopportare elevate temperature.

Le argille sono estremamente diffuse sulle superficie terrestre. Esse costituiscono la maggior parte dei terreni agricoli.

Le argille hanno un impiego molto esteso e vario; esse vengono impiegate nella produzione dei laterizi, nella fabbricazione dei coloranti, dei cosmetici, nella industria farmaceutica, nell'industria olearia, vetraria, cartaria, nell'industria metallurgica, nella ceramica, come impermeabilizzanti del terreno e come fanghi nelle perforazioni petrolifere.

3.2.3. IL GESSO E LA CALCE

Successivamente vennero scoperti i leganti veri e propri, quali il gesso e la calce aerea, ma ormai non siamo più nella preistoria ma siamo già in tempi storici, per cui pur nell'incertezza sui modi ed i tempi della scoperta di questi leganti, possiamo già avere una precisa documentazione sul loro uso.

I leganti vengono definiti anche materiali "litoidi", dato che derivano da quelli litici, ad essi assomigliano e come tali si comportano. Si ottengono per trasformazione di alcune rocce sedimentarie di origine chimica, sia solfatiche, sia carbonatiche.

La selenite o pietra da gesso ha una composizione solfatica, è mono-mineralica, essendo costituita prevalentemente da cristalli di gesso, o solfato biidrato di calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), il quale si trova in natura in formazioni stratificate, dovute a depositi originati per evaporazione di bacini d'acqua chiusi.

Per la produzione di calce si usavano invece rocce sedimentarie carbonatiche, ovvero calcari. Molto adatti erano quelli puri, cioè con alto contenuto di carbonato di calcio, costituito per lo più dalla calcite (CaCO_3), che in alcune formazioni può anche trovarsi in quantità pari al 95%.

In alcune circostanze vennero utilizzati anche i marmi, originati dal metamorfismo dei calcari, e nei quali il carbonato di calcio può rappresentare il 98-99% della roccia; tuttavia essi sono poco adatti alla produzione di calce, perché macrocristallini. Anche i calcari meno puri, contenenti cioè piccole quantità di quarzo, ossidi di ferro, o minerali argillosi, venivano utilizzati, in passato, per la produzione di leganti.

Un altro litotipo calcareo molto usato era la dolomia, anch'essa roccia sedimentaria di origine chimica, costituita da carbonato di calcio e magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Non molto diversi sono i calcari dolomitici, rocce "intermedie" fra i calcari e le dolomie, nei quali, a differenza della dolomia, il rapporto calcio-magnesio non è sempre pari a 1:1, ma la quantità di calcio è maggiore; in pratica si tratta di litotipi formati da calciti, dove il magnesio sostituisce una parte del calcio.

La scoperta della calce aerea, il primo in ordine cronologico dei vari leganti, fu certamente occasionale. Dalle pareti dei focolari in pietra calcarea, l'uomo ricavò una polvere capace di dare con acqua un impasto plastico ed all'essiccazione duro come la pietra dalla quale era stato ricavato.

Le stesse situazioni occasionali determinarono la scoperta del gesso ottenuta dalla cottura di pietre ricche di solfato di calcio.

Verso il 1000 A.C. per merito dei Fenici si affiancò il primo legante idraulico ottenuto mescolando calce spenta e polvere di laterizio cotto.

Così ai leganti aerei capaci di indurire solamente all'aria si affiancarono i leganti idraulici capaci di indurire sott'acqua.

Gli stessi Fenici ottennero un legante idraulico mescolando calce aerea con sabbia. All'inglese John Smeaton (Austhorpe 1750) va il merito di avere saputo riconoscere in alcuni tipi di calce le proprietà idrauliche, individuando nel contenuto di argilla dei calcari, il fattore della loro idraulicità.

I Romani comunque riuscirono a costruire delle opere imponenti come il Pont du Gard presso Nimes usando la calce idraulica (ottenuta miscelando calce e mattone cotto triturato) per il consolidamento delle parti costruttive immerse sott'acqua.

Il fatto che queste costruzioni siano integre e molte di esse anche utilizzate tuttora, significa che, pur trattandosi di epoche enormemente distanti dalla nostra era tecnologica, l'arte del costruire era sorprendentemente avanzata.

In epoche recenti le calce idrauliche, abbandonate durante i secoli successivi alla caduta dell'Impero Romano, furono riscoperte.

Le prime calce idrauliche furono prodotte nel 1700 utilizzando delle marne e cioè delle pietre calcaree che contengono all'interno delle quantità variabili di argilla.

Oggi per calce idrauliche naturali si intendono i prodotti ottenuti con la cottura di marne naturali oppure di mescolanze omogenee di pietre calcaree e di materie argillose con successivo spegnimento, macinazione e stagionatura (D.M. 31 agosto 1972-G.U. n 287).

Lo stesso decreto precisa anche le resistenze meccaniche minime con tolleranza del 5%:

- Calce idrauliche naturali in polvere, resistenza a compressione dopo 28 gg , 15 Kg/cmq.
- Calce eminentemente idraulica naturale resistenza a compressione 30 Kg/cmq.

3.2.4. LA POZZOLANA

La pozzolana è un materiale che è capace di combinarsi a temperatura ambiente con l'idrossido di calcio , cioè con la calce spenta o calce aerea per formare un legante idraulico.

L'idrossido di calcio è però anche un componente del cemento con il quale la pozzolana va a combinarsi per formare un silicato e conferire al cemento particolari caratteristiche di resistenza al dilavamento aumentando nel contempo le resistenze meccaniche.

Le pozzolane possono essere di diversi tipi; naturali, ad esempio la sabbia vulcanica di Pozzuoli località dalla quale deriva appunto il nome di pozzolana che unita alla calce aerea permise ai Romani la costruzione di acquedotti e ponti altrimenti impossibile a quei tempi.

Fra le pozzolane naturali vanno annoverate le pozzolane incoerenti laziali e campane, i tufi compatti del napoletano e della Germania (trash renano), le terre di diatomee in USA, Canada e Danimarca, oppure di origine mista come le pozzolane di Sacrofanto in Italia ed il Gaize in Francia.

Le pozzolane artificiali sono costituite da cenere volante (fly ash) recuperata dalla combustione delle centrali termoelettriche o dal fumo di silice (silica fume) che è il sottoprodotto derivante dalla produzione di silicio metallico e ferro-silicio nei forni ad arco voltaico, da quarzo purissimo.

3.2.5. IL CEMENTO

Con la rivoluzione industriale venne introdotto, fra la fine del XVIII secolo e l'inizio del XIX, il primo cemento, che venne detto Portland, per distinguerlo dal caementum romano. Il nome deriva dalla penisola meridionale della Gran Bretagna dove veniva estratta la roccia utilizzata. Si prepara cuocendo miscele di calcare e argilla a temperature molto alte (1450°C) le quali permettono la completa combinazione della calce con la silice e con l'allumina allo stato fuso. Il materiale di cottura, detto clinker, viene poi raffreddato e quindi macinato con l'aggiunta di piccole quantità di gesso, necessario a rallentare la presa.

Oggi si definisce cemento quel prodotto che, finemente macinato, forma, per aggiunta di opportune quantità di acqua, una pasta legante, più o meno fluida, capace di indurire sia sott'acqua che all'aria agglomerando i vari materiali inerti. In relazione alla composizione dei cementi ed alle particolari proprietà da questi possedute, esistono in commercio diversi tipi di cemento che assumono differenti denominazioni fissate per legge (Legge 26/5/65 n. 595 e DM del 3/6/68), queste sono: cemento portland, cemento pozzolanico, cemento d'altoforno e cemento alluminoso. I vari tipi di cemento si suddividono a loro volta in diverse categorie, ad esempio la classificazione adottata dalle norme italiane distingue i cementi portland, pozzolanici e d'altoforno in cementi normali ed a alta resistenza a seconda delle resistenze meccaniche (ed in particolare la resistenza alla compressione espressa in Kg/cm²) che con essi si possono ottenere alle diverse stagionature. Il numero delle qualità di cemento si è accresciuto in relazione alla loro maggiore specializzazione d'impiego; a tal fine ne vengono prodotti alcuni tipi con particolari caratteristiche quali: rapido indurimento iniziale, colore bianco, alta resistenza chimica, ecc..

I principali tipi di cemento sono:

- **Cemento Portland:** il più diffuso e di impiego generale; il suo nome deriva dall'aspetto che assume, dopo la presa, simile a quello della roccia inglese della penisola di Portland. Di solito viene distinto in naturale ed artificiale; questi si differenziano fra loro per la composizione delle materie prime. I Portland naturali, infatti, si ottengono da calcari contenenti il 20 - 30 % di argilla, viceversa i Portland artificiali si ottengono dalla cottura di miscele di calcare ed argilla nelle proporzioni volute in modo da ottenere cementi a composizione e caratteristiche costanti. Il calcare e l'argilla opportunamente dosati vengono miscelati e cotti a circa 1450 °C (a temperature inferiori si otterrebbe un prodotto a presa troppo rapida), durante la cottura avvengono diverse trasformazioni chimiche che conducono alla formazione del cemento sotto forma di pezzi di colore grigio-scuro, detti clinker. Il clinker, prima di essere macinato per la definitiva trasformazione in cemento, può essere miscelato con piccole quantità di gesso (2 - 3 %) al fine di ridurre o ritardare il tempo di presa del cemento. Il cemento Portland, rispetto agli altri cementi, possiede un più lungo tempo di presa (6 - 12 ore); dopo la presa ha inizio quel fenomeno importantissimo, detto indurimento, che avviene rapidamente all'inizio e lentamente col passare del tempo, continuando per mesi ed anni. A causa del fenomeno descritto si è scelto convenzionalmente di riferire la resistenza meccanica del cemento a quella presentata dal prodotto al 28° giorno dalla posa in opera. Il cemento portland di tipo normale (resistenza alla compressione di 325 Kg/cm²) trova impiego nella maggioranza delle costruzioni in cemento armato o in calcestruzzo; il cemento portland ad alta resistenza, detto anche supercemento (resistenza alla compressione di 525 Kg/cm²), trova impiego in tutte le costruzioni che richiedono un rapido disarmo, come riparazione di strade, canali, gallerie, ecc..
- **Cemento pozzolanico:** si ottiene mescolando clinker di cemento portland con pozzolana e sottoponendo tale miscela ad accurata macinazione. In media questo cemento è costituito da 30 - 40 parti di pozzolana e da 60 - 70 parti di clinker di cemento; è un legante idraulico eccellente sotto tutti gli aspetti in quanto la pozzolana esercita una azione di assorbimento sulle sostanze che si producono nelle reazioni chimiche che avvengono durante la presa del cemento, formando dei composti più stabili, dotati di resistenza al dilavamento ed all'acqua marina. Il cemento pozzolanico è adatto per la costruzione di gallerie, di impianti idroelettrici, per opere di fognatura e di scarico, per pavimentazione di locali in

cui si lavorano sostanze aggressive, nella costruzione di dighe, moli ed opere massicce di ogni tipo.

- Cemento d'altoforno (o siderurgico): si produce mescolando del clinker di cemento con loppe d'altoforno; in media è costituito da 30 parti di loppe e 70 parti di clinker ed è adatto per la costruzione di fognature urbane, di scarichi per acque industriali, per pavimentazioni stradali; può essere usato, infine, nella fabbricazione di forni e caldaie.
- Cemento alluminoso: si ottiene fondendo ad oltre 1400 °C una miscela di allumina, di silice e di ossido di calcio. Caratteristica speciale del cemento alluminoso è la rapidissima presa ed il rapido indurimento, per tale motivo viene utilizzato per lavori urgenti come riparazioni stradali e ferroviarie, rafforzamenti e restauri, costruzioni in cemento armato sottile, pavimenti di impianti industriali esposti all'attacco di agenti chimici aggressivi; può, inoltre, essere utilizzato nella preparazione di calcestruzzi e di malte refrattarie.

Altri tipi di cementi, che trovano impieghi meno frequenti, sono:

- Cemento a rapida presa o cemento romano: questo tipo di cemento occupa, fra gli agglomeranti, un posto importante in quanto è indicato per lavori urgenti ove è richiesto un inizio immediato della presa (1 - 2 minuti dopo aver effettuato l'impasto). Si prepara come il cemento portland ma la temperatura di cottura è inferiore; in questo modo infatti non si completa la formazione di quei composti chimici tipici del cemento.
- Cementi bianchi: questi cementi vengono prodotti a partire da materie prime prive o povere di ossidi di ferro (responsabili del colore grigio del cemento) e vengono impiegati a scopo decorativo per pareti e soffitti ed in genere in tutti quei casi in cui il colore grigio del cemento non è gradito; trovano inoltre impiego in edilizia, per fabbricare piastrelle, marmette, pavimenti a mosaico, pietre artificiali come marmo e travertini, per la rifinitura di lavori idraulici e per la posa in opera di sanitari.
- Cementi ferrici: sono dei cementi portland a cui si aggiunge dell'ossido di ferro; vengono utilizzati per vasche in cemento armato atte a contenere soluzioni saline, per costruzioni, per rivestimenti ed intonaci protettivi.

USI DEL CEMENTO : Il cemento viene mescolato con materiali inerti (sabbia, ghiaia o pietrisco, ferro) per la preparazione della malta, del calcestruzzo e del cemento armato. Una applicazione particolare del cemento consisteva nella preparazione dei manufatti in Amianto-cemento detti comunemente Eternit; tali manufatti sono oggi vietati per la loro

nocività. Infine mescolando opportunamente cemento ed inerti si producono dei manufatti, detti blocchi di cemento, con le stesse dimensioni dei laterizi.

La malta di cemento consiste in un impasto acquoso di una miscela di cemento e sabbia in rapporti compresi tra 1\1 e 1\4.

Il calcestruzzo si ottiene mescolando insieme, in opportune proporzioni cemento, inerti ed acqua; gli inerti utilizzati sono: ghiaie o sabbie, estratte da letti di fiumi o da cave; pietrischi e sabbia, provenienti dalla frantumazione di rocce. Possono essere preparati inoltre dei blocchetti in calcestruzzo caratterizzati da economicità e rapidità di posa in opera, che vengono utilizzati, in genere, per tramezzature non portanti.

Il cemento armato si prepara immergendo nella malta o nel calcestruzzo un'armatura di barre o tondini di acciaio; in questo modo si ottiene una forte resistenza alla compressione, dovuta alla malta o al calcestruzzo, ed una buona resistenza alla trazione dovuta ai tondini di acciaio in esso aggregati.

L'Amianto-cemento (Eternit) era un materiale da costruzione costituito da cemento e da fibre d'amianto sovrapposti in strati successivi; il cemento normalmente usato è il Portland, ma per applicazioni particolari possono essere utilizzati cementi pozzolanici o ferrici; l'amianto, sotto forma di fibre sottilissime, ha la funzione di sostenere il cemento fornendo una grande resistenza alla trazione ed alla flessione. I principali manufatti in eternit erano: lastre ondulate o piane, per coperture e rivestimenti; pannelli per prefabbricati; lastre per l'isolamento termico; canne fumarie e condotti di ventilazione.

I blocchi di cemento trovano principalmente applicazione nella posa in opera di fondamenta e di murature esterne.

3.3.CONFRONTO FRA CALCE IDRAULICA E CEMENTO

Ricordiamo che come leganti idraulici, ai quali la calce idraulica appartiene, si intendo quei leganti che hanno la capacità di indurire sott'acqua.

Anche il cemento è un legante idraulico, mentre la calce aerea non lo è in quanto indurisce solamente all'aria per azione dell'anidride carbonica che la trasforma in carbonato.

Ma in che cosa differisce la calce idraulica dal cemento?

Ripercorrendo il cammino della calce idraulica dai fenici dai greci e dagli israeliti che l'ottenevano dalla combinazione con sabbie di origine vulcaniche (pozzolane) o dalla calce più polvere di mattone (coccio pesto), per arrivare alla calce idraulica ottenuta per cottura di una pietra carbonatica agli inizi del 1500 come le prime calce idrauliche riferite dal Palladio, troviamo sempre degli elementi comuni.

In tutte c'è una combinazione diretta od indiretta di calce e di argilla. La reazione fra la calce e l'argilla delle sabbie vulcaniche o l'argilla cotta dei mattoni "pestati" porta alla formazione di silicati idrati ed in particolare il silicato idrato di calcio (silicato bicalcico) ed un alluminato che conferiscono le proprietà idrauliche

A seconda poi della quantità di argilla presente la calce è più o meno idraulica.

Nella seguente tabella si descrive il grado di idraulicità di una calce a seconda del rapporto carbonato ed argilla della pietra per 100 parti in volume.

IDRAULICITÀ	CARBONATO	ARGILLA
Debolmente idraulica	94,7-91,8%	5,3-8,2%
Mediamente idraulica	91,8-85,2%	8,2-14,8%
Propriamente idraulica	85,2-80,9%	14,8-19,1%
Eminentemente idraulica	80,9-78,2%	19,1-21,8%

Nella calce idraulica c'è sempre, a seconda dell'idraulicità, una certa presenza di ossido di calcio che deve essere spento inumidendolo.

L'idraulicità della calce dipende anche dalla temperatura di cottura oltre che dalla composizione della pietra calcarea.

Nel cemento oltre al silicato bicalcico è presente il silicato tricalcico che porta il cemento ad elevate caratteristiche meccaniche a breve e l'alluminato tetracalcico anch'esso determinante nel raggiungimento delle resistenze meccaniche a breve ma responsabile anche di interazioni con altri materiali come i solfati provenienti dall'esterno e che portano alla formazioni di sali espansivi. Questi ultimi possono quindi causare la disgregazione delle malte e del calcestruzzo.

In sostanza le calce idrauliche ed il cemento sono dei parenti più o meno stretti a seconda dell'idraulicità di queste ultime; ma a differenza del cemento la calce idraulica presenta comunque una notevole porosità da cui le deriva la capacità di costituire quel polmone igrometrico che è determinante per lo scambio di vapore ed aria con l'esterno.

Inoltre la calce idraulica a differenza del cemento è dotata di una elevata plasticità che le viene conferita dalla presenza della calce al suo interno (derivata dallo spegnimento dell'ossido di calcio). Non raggiungendo poi gli elevati valori di modulo elastico caratteristici dei cementi mantiene quella flessibilità che permette di posarsi alla muratura in maniera ideale senza creare tensioni che vengono create invece dal cemento a causa delle sue elevate resistenze meccaniche. Per questo motivo la calce idraulica e le calce in genere trovano un loro ideale impiego nel recupero architettonico in aggiunta al

loro già significativo impiego attuale nelle costruzioni civili in accordo con i criteri di un nuovo modo di vivere.

3.4.L'ECO-CEMENTO

L'Eco-cemento è un nuovo cemento Portland prodotto in Giappone nato per risolvere i problemi di rifiuti solidi urbani ed industriali. La sua produzione è basata sull'impiego (oltre 50%) di cenere da inceneritore urbano o da fanghi fognari quale materia prima per produrre il clinker di Eco-cemento.

Di seguito vengono allegati due articoli scientifici tratti dalla rivista Enco Journal n° 15 e n°16 riportato on-line: www.encojournal.com.

Nel n°15 è stata pubblicata la I^a parte dell'articolo riguardante le materie prime ed i processi di produzione dell'eco-cemento, nel n°16 è stata pubblicata la II^a parte dell'articolo in cui vengono descritte le caratteristiche, le proprietà ed alcune applicazioni dell'Eco-cemento.

ECO-CEMENTO:

Un nuovo cemento portland per risolvere i problemi di rifiuti solidi urbani ed industriali

Parte 1ª - Produzione dell'Eco-Cemento

Takashi Shimoda, Shigeru Yoloyama e Hiroshi Hirao,
Taiheyo Cement Corporation

INTRODUZIONE

Per tutto il XX secolo l'industria del cemento ha contribuito in modo determinante al progresso della comunità fornendo i materiali da costruzione per le infrastrutture e gli edifici delle moderne città. Per il XXI secolo si prospetta un nuovo ruolo per l'industria del cemento: contribuire alla soluzione dei problemi dei **rifiuti solidi urbani** ed industriali seguitando a garantire le proprietà fondamentali dei materiali da costruzione così come finora prodotti (1).

Il rapido aumento dei rifiuti solidi urbani ed industriali sta provocando seri **problemi ambientali** nei paesi industrializzati come in quelli in via di sviluppo. In Giappone i rifiuti solidi urbani (cioè le immondizie) sono arrivati a 50 milioni di tonnellate/anno nel 1997. L'apertura di nuove **discariche** trova ovunque una fiera opposizione da parte dei residenti locali. D'altra parte, l'attesa di esercizio delle discariche esistenti si sta rapidamente consumando.

Per anni gli amministratori dei comuni hanno scelto gli **inceneritori** di immondizie per ridurre il volume di ingombro dei rifiuti ed aumentare così la capacità di stoccaggio delle attuali discariche. L'**inceneritore**, però, non è una soluzione finale del problema perché anche le **cenere dei rifiuti urbani** debbono essere comunque portate a discarica. Inoltre esse richiedono un costante monitoraggio perché spesso contengono sostanze tossiche come diossine ed alcuni metalli pesanti (**Tabella 1**) che richiedono cure e trattamenti molto costosi, per evitare danni nell'ambiente.

Tabella 1 - Tipica composizione della cenere.

Componenti Minori			Componenti Maggiori (%)	
T ₁ O ₂	(%)	0.9	p.a.f.	11.0
P ₂ O ₅	(%)	1.8	SiO ₂	22.9
ZnO	(%)	0.6	Al ₂ O ₃	19.7
CuO	(%)	0.6	Fe ₂ O ₃	5.6
Cr	(ppm)	438	CaO	30.4
As	(ppm)	55	MgO	4.8
Cd	(ppm)	11	SO ₃	2.1
Hg	(ppm)	3.5	Na ₂ O	3.3
Pb	(ppm)	311	K ₂ O	2.6
F	(ppm)	120	Cl	8.5

Il problema della minore disponibilità delle discariche e della tossicità delle ceneri dei rifiuti urbani non è un problema solo del Giappone ma esiste in tutto il mondo. L'**Eco-cemento** è stato sviluppato proprio per trovare una soluzione a questo problema (2, 3).

Gli obiettivi fondamentali nello sviluppo dell'Eco-cemento sono stati:

1. Sostituire almeno il 50% delle materie prime con ceneri da inceneritore urbano o altri rifiuti come per esempio i **fanghi fognari**.
2. Il cemento prodotto deve essere destinato ad impieghi generalizzati.
3. Il processo di produzione ed il relativo prodotto debbono essere entrambi *environment-friendly* ("amici dell'ambiente").
4. L'intero processo deve diventare un sistema di riciclo completo.

Le ceneri dei rifiuti urbani contengono in generale un'elevata quantità di cloruri (pericolose per la corrosione dei ferri di armatura) e piccole quantità di sostanze tossiche, come diossine e metalli pesanti dannosi per l'ambiente. Perciò la decomposizione, la rimozione o l'incapsulamento di queste sostanze è la chiave per il successo del progetto dell'*Eco-cemento*. Inoltre, il processo produttivo deve soddisfare gli standard più rigorosi per le emissioni gassose eliminando NO_x, SO_x, HCl, diossine e qualsiasi altro componente volatile tossico. Il prodotto *Eco-cemento* deve essere sicuro in servizio: per esempio, non debbono essere rilasciate sostanze tossiche per dilavamento da pioggia del calcestruzzo. Così pure deve essere esclusa qualsiasi altra fonte secondaria di inquinamento.

Lo sviluppo dell'*Eco-cemento* in Giappone ha coinvolto la NEDO (*New Energy Development Organization*) un'organizzazione del Ministero del Commercio e dell'Industria. La ricerca è stata affidata alla fondazione *Clean Japan Center* con la quale collaborano tre compagnie private: Taiheyo Cement (ex Chichibu Onoda Cement) *leader* del progetto, Ebara ed Aso Cement. Attualmente nella società Taiheyo Cement è operativo un impianto pilota per produrre 50 Tonn/giorno. Nel frattempo dalle locali autorità governative sono stati approvati due impianti industriali che attualmente sono in fase di progetto: in uno si produrranno 200.000 Tonn/anno di *Eco-cemento* (dove si consumeranno 130.000 Tonn/anno di ceneri da inceneritore); nel secondo impianto si produrranno 95.000 Tonn/anno di *Eco-cemento* con 90.000 Tonn/anno di ceneri da inceneritore.

In questa prima parte dell'articolo sono descritte le materie prime ed i processi per produrre l'*Eco-cemento* come anche le tecniche di recupero dei metalli pesanti. In un prossimo numero di *Enco Journal* verranno descritte le prestazioni e le applicazioni di questo cemento.

PROGETTO CHIMICO DELL'ECO-CEMENTO

La Tabella 1 mostra una tipica composizione di cenere da rifiuti urbani in Giappone. Utilizzando circa il 50% di cenere delle materie prime, la composizione del cemento risulta arricchita in Cl, Na₂O, K₂O, P₂O₅ ed Al₂O₃.

Conseguentemente sono stati previsti due tipi di *Eco-cemento*: un cemento di tipo portland ed un cemento del tipo a rapido indurimento.

La **Tabella 2** mostra una tipica composizione delle materie prime per produrre l'*Eco-cemento* in forma di cemento portland o di cemento a rapido indurimento.

Tabella 2 - Tipica proporzione e composizione chimica delle materie

Proporzione delle Materie Prime			Composizione Chimica delle Materie Prime				
Materia Prima:	Eco-Cemento tipo cemento Portland	Eco-Cemento a Rapido Indurimento	Materia Prima:	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)
Cenere da inceneritore	58.2%	52.2%	Cenere da inceneritore	22-23	19-20	5-6	30-31
Calcare	40%	45%	Calcare				47.55
Argilla	1.3%	2.2%	Argilla	45-78	10-26	3-9	
Ossido Ferrico	0.5%	0.3%	Ossido Ferrico			40-90	
Allumina	æ	0.3%	Allumina		99		

Eco-cemento tipo Cemento Portland

Questo *Eco-cemento* (**Tabella 3**) è basato sullo stesso clinker del cemento portland normale (*NPC*) e contiene C₃S, C₂S, C₃A e C₄AF (4). I cloruri della cenere volatilizzano con gran parte degli alcali nel processo di clinkerizzazione (nel seguito descritto in dettaglio) e nel cemento non rimane più dello 0.1% di cloruri. Per l'elevato tenore di Al₂O₃ (10-20%) proveniente dalla cenere, l'*Eco-cemento* contiene un maggior contenuto di C₃A. Pertanto per bilanciare questo parametro si aggiunge un po' di Fe₂O₃ al fine di aumentare il tenore di C₄AF a spese del C₃A. Anche il contenuto di solfato di calcio come regolatore presa è maggiore (7-8%) di quello richiesto per l'*NPC* (3-4%). Nell'insieme questo *Eco-cemento* ed il cemento portland normale (*NPC*) presentano caratteristiche molto simili.

Tabella 3 - Composizione chimica di due Eco-cemento a confronto con NCP

COMPOSIZIONE CHIMICA			
Tipo di cemento	Eco-cemento Portland	Eco-cemento a rapido indurimento	Cemento Portland Normale (NPC)
p.a.f.	0.6 %	0.8 %	0.6 %
SiO ₂	19.1 %	15.5 %	22.2 %
Al ₂ O ₃	8.1 %	11.0 %	5.1 %
Fe ₂ O ₃	4.5 %	1.9 %	3.0 %
CaO	62.7 %	58.5 %	63.8 %
MgO	1.4 %	1.4 %	1.4 %
SO ₃	3.7 %	8.8 %	2.0 %
Na ₂ O	0.05 %	0.60 %	0.30 %
k ₂ O	0.00 %	0.00 %	0.20 %
Cl	0.04 %	1.00 %	0.00 %
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			
C ₃ S	49 %	44 %	56 %
C ₂ S	12 %	11 %	19 %
C ₃ A	14 %	----	9 %
C ₁₁ A ₁₁ ·CaCl ₂	----	17 %	----
C ₄ AF	13 %	8 %	9 %
CaSO ₄	7.7 %	15.0 %	3.4 %

Eco-cemento a rapido indurimento

Nel cosiddetto *Jet cement*, cemento a rapido indurimento, le elevate prestazioni meccaniche alle brevissime stagionature sono dovute alla formazione di un fluoro-alluminato di calcio (C₁₁A₇·CaF₂). Nell'*Eco-cemento* di tipo a rapido indurimento si sfrutta la presenza del cloruro in eccesso nella cenere per favorire nel clinker la formazione di un cloro-alluminato di calcio (C₁₁A₇·CaCl₂) con prestazioni simili a quelle del fluoro-alluminato presente nel *Jet Cement*.

Il processo di clinkerizzazione - lo stesso utilizzato per l'*Eco-cemento* portland - è governato in modo che rimanga un eccesso di cloruro rispetto agli alcali (**Tabella 3**). Questo cloruro (1%) alimenta la formazione di cloro alluminato: è sufficiente 1% di Cl per ottenere 17% di C₁₁A₇·CaCl₂ (Tabella 3).

L'*Eco-cemento* di tipo portland e quello a rapido indurimento sono prodotti nella stessa linea produttiva: controllando la composizione delle materie prime (**Tabella 4**) si arriva a governare la composizione mineralogica dei cementi (**Tabella 3**).

Tabella 4 - Composizione chimica delle materie prime (farina) per i due tipi di Eco-cemento.

COMPOSIZIONE CHIMICA		
Farina di Eco-cemento per:	Cemento Portland	Rapido Indurimento
p.a.f.	30.7 %	30.0 %
SiO ₂	12.0 %	12.1 %
Al ₂ O ₃	5.6 %	8.0 %
Fe ₂ O ₃	3.1 %	1.9 %
CaO	41.2 %	39.8 %
MgO	1.3 %	1.4 %
SO ₃	0.8 %	0.3 %
Na ₂ O	1.7 %	1.4 %
k ₂ O	0.9 %	1.0 %
Cl	2.3 %	3.6 %
TOTALE	99.6 %	99.5 %

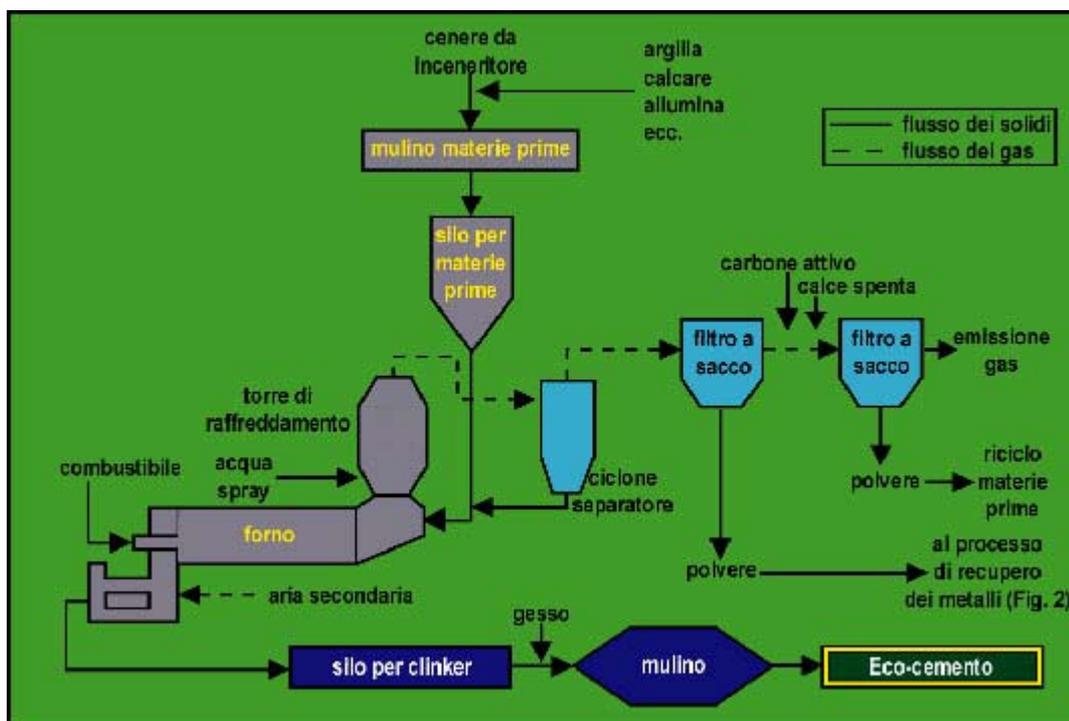


Fig. 1 - Processo produttivo dell'Eco-cemento.

PROCESSO PRODUTTIVO

La Fig. 1 mostra schematicamente il processo produttivo il quale include:

- preparazione della farina
- clinkerizzazione
- macinazione
- recupero dei metalli.

PREPARAZIONE DELLA FARINA

Poiché la produzione di *Eco-cemento* si basa sull'impiego di scorie occorre maggiore cura nella composizione di questi rifiuti rispetto all'*NPC* che si basa sull'impiego di materie prime naturali.

- a. Poiché la composizione della cenere da inceneritore può presentare delle significative differenze a seconda dei Comuni di provenienza, occorre prevedere un sistema di mescolamento delle varie ceneri. Questo deve essere equipaggiato con miscelatori delle ceneri, con analizzatori a fluorescenza di raggi X per controllare le fluttuazioni di composizione della cenere e per compensarle con aggiunta di calcare, argilla ed altre materie prime (Fe_2O_3 , Al_2O_3).
- b. Gli alcali (Na e K) ed altri metalli (come Pb, Zn, Cu, Cd, As ed Hg) volatilizzano in forma di cloruri nel forno di cottura. Perciò il contenuto di alcali e metalli pesanti da una parte, e quello di cloruro dall'altra, debbono essere accuratamente tenuti sotto controllo per favorire la volatilizzazione dei cloruri alcalini e metallici durante il processo di clinkerizzazione.

Per l'*Eco-cemento* di tipo portland occorre che il tenore di cloruro sia equivalente alla quantità di alcali e dei metalli pesanti e che tutto (o quasi) il cloruro volatilizzi. Se il contenuto di alcali e di metalli fosse insufficiente rispetto al cloruro, si aggiunge Na_2CO_3 per fare evaporare l'eccesso di cloruro sotto forma di NaCl. Per l'*Eco-cemento* del tipo a rapido indurimento, invece, è necessario che ci sia una certa quantità (circa 1%) di cloruro in eccesso rispetto agli alcali ed ai metalli, per consentire la formazione del cloro-alluminato (circa 17% di $\text{C}_{11}\text{A}_7\cdot\text{CaCl}_2$) necessario alle prestazioni di rapido indurimento di questo cemento. Occorre pertanto mantenere costante la quantità di Al_2O_3 e di cloruro. Quest'ultimo, se fosse insufficiente rispetto agli alcali ed ai metalli pesanti, può essere aumentato con aggiunte di CaCl_2 .

CLINKERIZZAZIONE

A causa dell'effetto mineralizzante del cloruro nella farina, la temperatura di cottura nel forno è più bassa (1350 °C contro 1450 °C) per la produzione di *Eco-cemento* (in entrambe le versioni) che non per quella dell'*NPC*.

Le diossine, solitamente presenti nelle ceneri, sono completamente decomposte nel forno a temperatura sopra 800 °C. Il gas esausto che esce dal forno, tuttavia, deve essere prontamente raffreddato al di sotto di 250 °C in una torre di raffreddamento (Fig. 1) per prevenire la riformazione delle diossine che diventa possibile a 250-300 °C. I metalli pesanti (Pb, Zn, Cu e Cd) come anche gli alcali (Na, K) volatilizzano in forma di cloruri ad una temperatura tra 800 °C e 1300 °C. Quindi condensano e precipitano in forma di polvere al di sotto di 1000 °C. Pertanto il preriscaldamento della sospensione non è raccomandato per l'*Eco-cemento* perché la condensazione dei cloruri potrebbe provocare l'intasamento delle polveri nei cicloni.

I cloruri volatili, trascinati nella corrente del gas esausto e raffreddati nella torre di raffreddamento e nel ciclone separatore, sono infine raccolti nel filtro a sacco (Fig. 1). La polvere raccolta viene inserita nel processo di recupero dei metalli (Fig. 2). Il gas esausto residuo è in parte emesso come CO₂ ed H₂O ed in parte recuperato come polvere riciclata verso la farina che alimenta il forno (Fig. 1).

Nella Fig. 3 è mostrato il bilancio di massa del processo produttivo in termini di flussi (Tonn/ora) e di quantità richieste o sottoprodotte per 100 Kg di *Eco-cemento*.

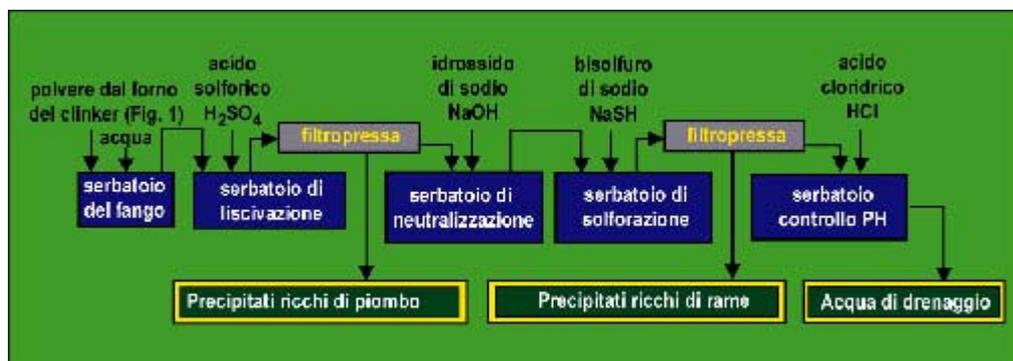


Fig. 2 - Processo di recupero dei metalli della polvere di Eco-Cemento (DOWA)

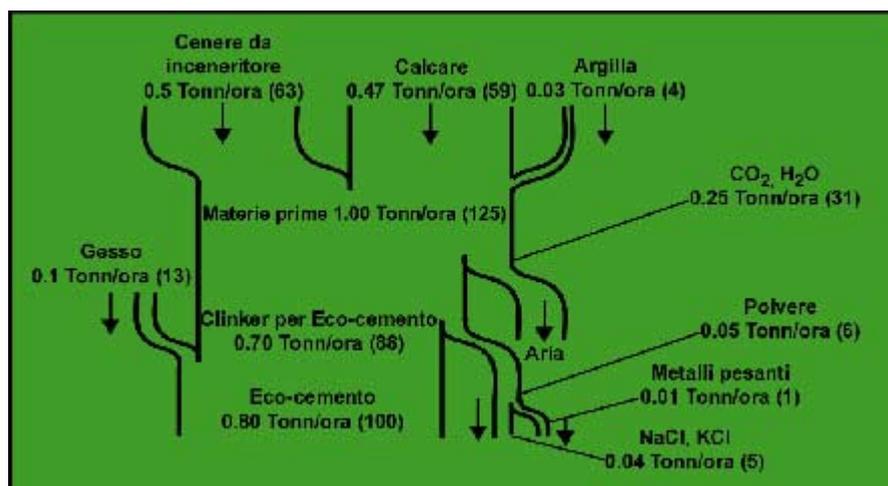


Fig. 3 - Bilancio di massa nel processo dell'Eco-Cemento.
Tra parentesi le percentuali rispetto all'Eco-cemento posto=100

MACINAZIONE

Per la produzione di *Eco-cemento* di tipo portland, il clinker ed il gesso sono macinati ad una finezza che può arrivare a 4000 cm²/g. Il gesso si disidrata ad emidrato per la temperatura che si raggiunge nella macinazione, e questo aiuta la regolazione della presa di un cemento ricco in C₃A (**Tabella 2**). Per lo stesso motivo il tenore di SO₃ è di 3.5-4.0%, un po' più alto di quello presente nell'*NPC* (**Tabella 3**).

Per la versione di *Eco-cemento* a rapido indurimento, il clinker con l'aggiunta di 1% di Na₂SO₄ è macinato in assenza di gesso, ad una finezza fino a 4.500 cm²/g. Quindi al clinker macinato si aggiunge anidrite (CaSO₄) macinata separatamente a 7.000 cm²/g e si miscela in modo che il rapporto molare Al₂O₃/SO₃ nel cemento sia compreso tra 1 e 1.2.

La funzione dell'Na₂SO₄ è quella di controllare la presa del cemento a rapido indurimento, mentre l'anidrite è necessaria per poter formare (dopo aver reagito con il C₁₁A₇-CaCl₂) l'ettringite e mantenere costante lo sviluppo delle resistenze meccaniche.

RECUPERO DEI METALLI

Nelle ceneri dei rifiuti urbani sono solitamente contenute piccole quantità di metalli pesanti (**Tabella 1**). Tra questi, il cromo e lo zinco vengono incorporati nei minerali del clinker, mentre piombo, rame, cadmio ed altri metalli pesanti volatilizzano come cloruri e vengono alla fine catturati come polvere dal filtro a sacco (Fig.1) ed inviati al processo di recupero dei metalli (Fig. 2). In questo processo la polvere è mescolata con acqua. Il fango che si produce è trattato con acido solforico per far precipitare i solfati di metalli insolubili (come $PbSO_4$). Dopo aver rimosso il precipitato di $PbSO_4$ dal liquido, si aggiungono idrossido di sodio e bisolfuro di sodio, e si controlla il pH ed il potenziale di ossido-riduzione. I solfuri di rame e di cadmio che precipitano vengono separati dal liquido. Il solfato di piombo ed i solfuri di rame e cadmio, che per composizione sono paragonabili a minerali naturali (5), vengono quindi inviati ad un processo per il recupero dei metalli.

BIBLIOGRAFIA

1. H. Uchikawa, Management strategy of cement industry in technology toward the next century, *Advances in Cement and Concrete*, Proceedings of the Engineering Foundation Conference, 524-561 (1994)
2. H. Obana, T. Anzai, T. Fukunaga, ECO-CEMENT recycled urban garbage and waste materials. *Proceedings of the International Symposium on Environmental Issues of Ceramics*, 63-67 (1995).
3. H. Uchikawa, H. Obana, Ecocement-Frontier of recycling of urban composite waste, *World Cement*, 33-36 (1995).
4. H.F.W. Talor, *The Chemistry of Cements*, Academic press, 1-24 (1964).
5. T. Anzai, H. Obana, C. Izumiya, M. Abumiya, Ecocement which is used waste and the recycling of the heavy metals. *Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan*, 113, 126-130 (1997).

ECO-CEMENTO:

Un nuovo cemento portland per risolvere i problemi di rifiuti solidi urbani ed industriali

Parte II - Caratteristiche, proprietà ed applicazioni dell'Eco-cemento

Takashi Shimoda, Shigeru Yoloyama e Hiroshi Hirao,
Taiheyo Cement Corporation

Nel precedente numero di Enco Journal è stata pubblicata la I Parte dell'articolo sulla produzione dell'Eco-cemento basata sull'impiego (oltre 50%) di cenere da inceneritore urbano o da fanghi fognari quale materia prima per produrre il clinker di Eco-cemento. In questa II Parte dell'articolo vengono descritte le caratteristiche, le proprietà ed alcune applicazioni dell'Eco-cemento.

IL CLINKER DELL'ECO-CEMENTO

La Fig. 1 mostra le immagini a elettroni retro-diffusi dei due clinker di Eco-cemento (il tipo Portland e quello a rapido indurimento a confronto con quella di un clinker di normale cemento Portland (NCP).

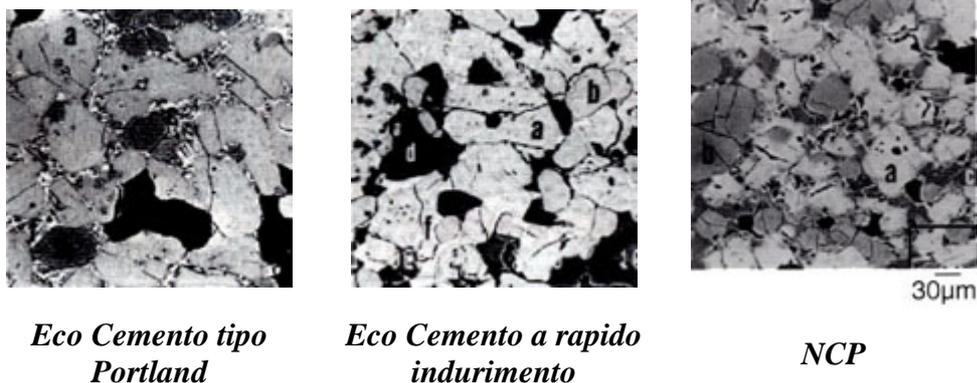


Fig. 1 - Immagini a elettroni retro-diffusi del clinker.

CLINKER DI ECO-CEMENTO TIPO PORTLAND

Il clinker di Eco-cemento di tipo Portland contiene gli usuali quattro costituenti mineralogici: C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF . L'alite (C_3S) di questo clinker cristallizza nel sistema monoclinico e mostra l'automorfismo tipico anche del clinker di NCP. La dimensione media dei cristalliti di alite è circa 30 μm .

La belite (C_2S) è il tipo I con striature trasversali e dimensione media dei cristalliti di circa 15 μm . La quantità di fase interstiziale è maggiore che non quella del clinker di NCP. Il C_3A si presenta in forma cubica con un basso tenore di alcali, e ciò dipende dalla volatilizzazione degli alcali insieme al cloruro durante il processo di clinkerizzazione. Il C_4AF nel clinker dell'Eco-cemento è lo stesso di quello che si trova nel clinker di NCP.

Il cloruro presente nelle materie prime agisce da mineralizzatore; accelera la formazione di alite e riduce la calce libera.

CLINKER DI ECO-CEMENTO TIPO PORTLAND

La matrice del clinker dell'Eco-cemento a rapido indurimento consiste di C_3S , C_2S , C_4AF e $C_{11}A_7 \cdot CaC_{12}$. L'alite mostra la forma automorfica con una dimensione media dei suoi cristalliti di 30 μm . La belite è di tipo I con una dimensione media dei cristalliti di 15 μm . Il cloruro è presente in forma di $C_{11}A_7 \cdot CaC_{12}$ ed agisce da mineralizzante dell'alite (1,2).

IDRATAZIONE DELL'ECO-CEMENTO TIPO PORTLAND

Poiché questo tipo di Eco-cemento contiene una quantità di C_3A maggiore di quella presente nell'NCP, anche lo sviluppo di calore risulta altrettanto maggiore. Subito dopo il contatto con acqua il C_3A si combina con il gesso semidrato ($CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O$) per formare ettringite ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$). Segue quindi un periodo di induzione del tutto simile a quello che si registra per l'NCP. Il gesso viene quindi rapidamente consumato per formare il monosolfoalluminato ($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$) poiché la quantità di gesso non è più sufficiente per formare ettringite con il C_3A . Nel giro di 2 ore l'alite comincia a reagire con l'acqua nella stessa maniera che avviene per l'NCP.

Alla fine, si ottiene una microstruttura densa di pasta cementizia indurita formata dagli idrosilicati di calcio (C-S-H), idrossido di calcio, $Ca(OH)_2$, e monosolfoalluminato.

IDRATAZIONE DELL'ECO-CEMENTO A RAPIDO INDURIMENTO

Il composto $C_{11}A_7 \cdot CaC_{12}$ comincia a formare ettringite con l'anidrite ($CaSO_4$) subito dopo la miscelazione del cemento con acqua. Al tempo stesso, il cloruro reagisce per formare piccole quantità del sale di Friedel ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot xH_2O$). Nel giro di un'ora si attiva l'idratazione dell'alite. Quindi la matrice degli idrati aumenta la densità perché il C-S-H, formato per idratazione dell'alite e della belite, riempie i pori tra i cristalli aghiformi lunghi 1 μm di ettringite. Alla fine, la pasta di cemento indurita è densificata dalla presenza di C-S-H, $Ca(OH)_2$, ettringite e monosolfoalluminato.

PROPRIETA' FISICHE

Le proprietà fisiche dei due tipi di Eco-cemento sono mostrate in Tabella 1.

Tabella 1 - Proprietà fisiche dei cementi.

Tipo di cemento	Peso specifico (g/cm ³)	Area sup. specifica (cm ³ /g)	Tempo di presa (h-min)		Resistenza a compressione (N/mm ²)					
			iniziale	finale	3 h	6 h	1 g	3 gg	7 gg	28 gg
Eco-cemento tipo Portland	3.19	4500	2-0	4-30	-	-	9	22	37	53
Eco-cemento rapido	3.13	4600	0-9	0-13	10	16	23	30	38	46
NCP	3.17	3220	2-22	3-20	-	-	11	27	43	59

L'Eco-cemento tipo Portland, con 3.5-4.0% di SO_3 , presenta più o meno le stesse prestazioni meccaniche del normale cemento Portland (NCP).

L'Eco-cemento a rapido indurimento si distingue soprattutto per il tempo di presa molto breve (circa 10 minuti) ed il rapido sviluppo delle resistenze meccaniche alle stagionature brevissime (3-6 ore) e brevi (1-3 giorni). Questo comportamento è da mettere in relazione

necessario, si può allungare il tempo di presa con additivi ritardanti a base di acido citrico o si può aggiungere la loppa granulata d'altoforno durante la macinazione del clinker di Eco-cemento a rapido indurimento.

LISCIVAZIONE DEI METALLI PESANTI SU MALTE DI ECO-CEMENTO

Prove di lisciviazione dei metalli pesanti su malte di Eco-cemento sono state eseguite in accordo ai procedimenti della Japanese Environment Protection Agency (JEPA). I risultati sono mostrati in Tabella 2 ed indicano che le quantità di metalli pesanti liscivabili sono nettamente al di sotto dei valori standard previsti dalla JEPA.

Ancorché il cloruro sia lisciviabile esso rimane comunque al di sotto dei valori limiti fissati dalla JEPA.

Tabella 2 - Lisciviazione dei metalli pesanti o anioni (mg/l) da malte di Eco-cemento.

Tempo	(mg/l)								
	Cd	Pb	As	CN ⁻	Cu	Hg	Cr ⁶⁺	Se	Cl ⁻
1 gg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	41
3 gg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	39
7 gg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	38
28 gg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	34
Valori standard	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 1	< 0,0005	< 0,05	< 0,05	< 200
ND: valori Non Determinabili perchè troppo al di sotto dei valori standard									

APPLICAZIONI DELL'ECO-CEMENTO

L'Eco-cemento di tipo Portland può essere impiegato esattamente per gli stessi calcestruzzi per i quali si impiega un normale cemento Portland (NCP). Quindi esso è applicabile per un vasto impiego in diversi settori.

L'Eco-cemento a rapido indurimento contiene un alto contenuto di cloruro (1%) e perciò non può essere impiegato per i calcestruzzi destinati alle opere in c.a. Esso può essere impiegato nella produzione di blocchi, massetti autobloccanti, pannelli in legno-cemento, ecc. In questi casi il tempo di presa può essere regolato impiegando un additivo ritardante o aggiungendo loppa d'altoforno.

La più interessante applicazione (3, 4) dell'Eco-cemento a rapido indurimento è quella destinata al consolidamento di terreni bagnati, zone paludose ed altri terreni cedevoli (Fig.2).

CONCLUSIONI

Ceneri da inceneritori o da fanghi fognari sono stato per molto tempo portati a discarica. L'Eco-cemento ha reso possibile un reimpiego di queste ceneri per prodotti industriali.

L'Eco-cemento contribuisce alla produzione di cemento ma anche alla soluzione di problemi ambientali ed al riciclo di metalli

pesanti.

Attualmente gli impianti progettati per l'Eco-cemento in Giappone, sono in grado di produrre 295.000 Ton/anno.



Fig. 2 - Uso dell'Eco-cemento a rapido indurimento per consolidare terreni bagnati.

BIBLIOGRAFIA

1. Y. Takuma, Y. Tsuchida, S. Uchida, "Characteristic and hydration of cement produced from ash from incinerated urban garbage", Proceedings of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement, 3, ii 118, (1997);
2. T. Nakano, Y. Tsuchida, T. Uwabo, S. Uchida, "Fundamental research on manufacture of cement from urban composite waste", Proceedings, The 3rd International Conference on ECOMATERIALS, 114-117, (1997);
3. H. Ohmori, T. Maruta, M. Moriya, H. Isoda, "Decreasing the amount of chloride ion elution in the Ecocement made from municipal waste ash", Inorganic Materials, 4, 119-125, (1997);
4. T. Maruta, H. Ohmori, M. Moriya, K. Uchida, H. Isoda, "Properties of the soil improved by the special cement made from municipal solid waste incineration ashes", Inorganic Materials, 4, 152-155, (1997).

3.5.LA RISCOPERTA DELLA TERRA CRUDA

La terra e le argille che costituiscono la maggior parte dei terreni agricoli sono state adoperate per millenni per costruire abitazioni tanto semplici quanto salubri .

Le maggiori realizzazioni in terra cruda sono senza dubbio le meravigliose case di Sana'a, la capitale dello Yemen, che si elevano per 2 o 3 piani e sono riccamente decorate con pitture altrettanto rispettose dell'ecologia dell'ambiente.

Oggi questo procedimento del costruire è stato riscoperto e si sono realizzate delle costruzioni e delle integrazioni architettoniche estremamente interessanti.

La terra cruda è un materiale innocuo per la salute: la terra reperibile ovunque può sostituire in molti casi materiali a maggior dispendio energetico .

Grazie alle particolari caratteristiche igroscopiche la terra cruda è in grado di assorbire rapidamente grandi quantità di umidità dall'ambiente e di cederla ottenendo un equilibrio ideale umidità-aria ambiente

La terra cruda inoltre traspira attivamente determinando una notevole ventilazione attraverso i pori ed una conseguente depurazione dell'aria.

3.6. PRINCIPALI MATERIALI BIOECOLOGICI

Questo elenco riguarda essenzialmente i materiali base in genere presenti in un cantiere edile, consigliati per la realizzazione di edifici che rispondono a requisiti di bioecologicità.

3.6.1. MATERIALI PER FONDAZIONI E OPERE STRUTTURALI

Il cemento

In bioedilizia si consiglia di ridurre ai minimi termini l'uso di questo materiale per le sue specifiche caratteristiche fisico tecniche: mantiene a lungo l'umidità, ha scarsa traspirabilità, elevata conducibilità ed è inoltre facilmente aggredibile dagli agenti atmosferici, richiede quindi complesse opere di isolamento termoacustico e l'utilizzo di additivi chimici specifici di forte impatto ambientale.

Il calcestruzzo armato, d'altro canto, è sia per motivi normativi che pratici la soluzione più consigliata per realizzare fondazioni e alcuni elementi strutturali.

In bioedilizia si consiglia quindi l'utilizzo di cemento puro, in cui sia certificata l'assenza di radioattività e la non additivazione in fase di produzione con materie seconde spesso provenienti da scarti di altre lavorazioni industriali o in fase di

confezionamento del calcestruzzo con prodotti chimici di sintesi. Questi requisiti si trovano più facilmente nel cemento bianco che è quindi da preferire.

Il ferro

Anche per l'altra componente del calcestruzzo armato, il ferro, esistono motivi per consigliare un uso molto limitato. La forte presenza di componenti metalliche in un edificio, soprattutto se in forma reticolare, ha infatti due potenziali effetti negativi: effetto Faraday, ovvero squilibrio fino all'annullamento del campo elettromagnetico naturale proveniente dal suolo e dal cosmo ed effetto antenna nei confronti del sempre più massiccio inquinamento elettromagnetico artificiale presente oggi nelle aree urbanizzate e prodotto da linee ad alta tensione, trasmettitori radio e tv, installazioni radar, ponti radio, satelliti, ecc.

Secondo alcuni studi le alterazioni del campo elettromagnetico naturale e l'aumento dello stress elettromagnetico prodotto da fonti artificiali determinano interferenze con il funzionamento cellulare degli organismi viventi fino ad innescare processi di degenerazione cellulare.

In bioedilizia si consiglia quindi che l'acciaio tondo ad aderenza migliorata sia ad alta resistenza per limitarne la quantità o meglio ancora realizzato in acciaio inox che, per la sua particolare microstruttura, ha valori particolarmente bassi di permeabilità magnetica e consente quindi di eliminare le azioni di disturbo al campo elettromagnetico naturale proprie degli elementi metallici in particolare se reticolari.

3.6.2. MATERIALI PER LE MURATURE E OPERE STRUTTURALI

L'argilla

Per i motivi addotti, parlando di cemento e ferro si deduce che le murature portanti siano la soluzione tendenzialmente preferita per gli edifici fino a tre piani. D'altra parte, per diversi motivi, sono ecologicamente poco consigliabili edifici molto sviluppati in altezza.

Dal punto di vista bioecologico la preferenza nella scelta di elementi per muratura deve andare all'argilla materiale presente nel nostro ambiente in quantità consistenti in modo molto diffuso. I manufatti in argilla sono dotati di grandi capacità di traspirazione e di isolamento acustico; l'argilla costituisce, per le sue caratteristiche di assorbimento e di inerzia termica, un ottimo volano termoisolante in grado di creare un clima abitativo ideale: se correttamente dimensionato, accumula e irradia nuovamente il calore radiante

prodotto all'interno delle abitazioni e tende ad equilibrare l'umidità relativa dell'aria interna. Queste caratteristiche sono maggiormente presenti nell'argilla cruda e cioè nel materiale semplicemente essiccato e non cotto in fornace a temperature molto alte. Blocchi di argilla cruda, per murature ovviamente non portanti, vengono oggi riproposti anche in Italia e rappresentano una soluzione ideale quando si possono realizzare strutture portanti in legno.

Il laterizio è invece indicato, anche in zona sismica, per le murature portanti che dovranno essere, per ottimizzare le loro proprietà, monolitiche e di forte spessore. L'argilla per essere biologicamente compatibile non deve essere additivata con materie seconde, come invece spesso avviene, e, in caso di porizzazione finalizzata al miglioramento delle prestazioni termocoibenti dei laterizi, i materiali aggiunti all'argilla dovranno essere di origine vegetale o minerale come nel caso della polvere di legno, della perlite o di prodotti di scarto della produzione agricola come la pula di riso, mentre si dovranno escludere i materiali derivati dalla sintesi petrolchimica come il polistirolo, materiale privo di sostenibilità ambientale.

Il legno

E' insieme all'argilla il materiale base per la costruzione bioecologica. E' infatti in assoluto in edilizia la materia prima più rinnovabile oggi disponibile anche se soprattutto in Italia, il suo uso si è fortemente ridotto negli ultimi decenni a seguito di interventi di impoverimento del patrimonio forestale nazionale molto precedenti a quelli, tanto condannati, in corso nel terzo mondo. Ha caratteristiche fisico tecniche che ne fanno un materiale perfettamente idoneo a creare luoghi di abitazione vitali ed equilibrati. Ha ottima resistenza meccanica, forte potere termocoibente, grande igroscopicità e quindi capacità di regolare l'umidità relativa degli ambienti, elevata temperatura superficiale. Non è un caso che il legno, anche se spesso usato in modo poco corretto, sia il principale materiale da costruzione nei paesi più avanzati del mondo come gli Stati Uniti, il Canada, il Giappone e tutto il centro e nord Europa. Per tornare ad essere un materiale primario anche in Italia, sarebbe ovviamente necessaria una seria politica di forestazione produttiva in un territorio come il nostro per altro fisicamente ideale per questo orientamento produttivo. Ciò non toglie che, soprattutto nel nord Italia, vista la relativa vicinanza a paesi produttori ed esportatori di legname come l'Austria, il legno possa tornare ad essere usato in maniera sostanziale e non solo in maniera formale e nostalgica.

Sono in questo caso necessari chiarimenti essenziali sul suo approvvigionamento e sul suo uso. Il legno da usare in un'ottica di rispetto dei criteri della sostenibilità ambientale deve essere preferibilmente di produzione locale, scelto favorendo le specie a rapido accrescimento come il pino, l'abete, il pioppo, l'ontano, la robinia, ecc. deve provenire da taglio selettivo e quindi da forestazione produttiva o da attività di riciclaggio. Vanno quindi evitati innanzitutto i legnami esotici che in genere provengono da deforestazione ma che nella migliore delle ipotesi hanno richiesto per il trasporto per mare sprechi energetici inaccettabili e trattamenti con antiparassitari fortemente tossici in fase di lavorazione e di uso.

Per l'incidenza dei trasporti e per il rischio dei trattamenti antiparassitari sono poco consigliabili in genere i legnami di produzione extraeuropea. Le migliori prestazioni di questo materiale si ottengono rispettando i tempi di taglio (luna piena), di stagionatura secondo criteri naturali e di controllo della sua umidità che per evitare le deformazioni e lo sviluppo di funghi deve essere inferiore ai 15/18%.

Va ovviamente molto esplicitamente chiarito che il legno perde le sue principali caratteristiche e può addirittura trasformarsi in un materiale pericoloso per l'ambiente e per la salute umana se viene trattato con prodotti derivati dalla sintesi petrolchimica come impregnanti per l'uso all'esterno, collanti e vernici protettive ricchi di formaldeide, solventi e altri prodotti di provata tossicità. Questi prodotti, oltre a determinare un pericolo in fase di produzione e di applicazione per gli addetti, tendono a rilasciare composti volatili nei primi mesi dopo la posa ma soprattutto modificano le prestazioni proprie del legno come nel caso delle vernici poliuretaniche per i pavimenti che inevitabilmente annullano le doti di igroscopicità del legno stesso. Se necessario, i trattamenti per la protezione e la cura del legno possono essere realizzati con prodotti di derivazione vegetale o animale come l'olio di lino, le resine di conifera, le essenze di agrumi, la cera d'api e molti altri.

I semilavorati (i compensati, listellari, multistrati ecc.) richiedono sempre l'uso di collanti più o meno dipendenti dall'industria petrolchimica ed in particolare dalla formaldeide prodotto di riconosciuta pericolosità onnipresente nei lavori di protezione ed incollaggio del legno. L'uso di questi prodotti non è normato in Italia, ma esiste una classificazione tedesca che consente di riconoscere con la sigla "E1" quei semilavorati in cui il contenuto di formaldeide è stato ridotto ai minimi termini.

Il cemento

Il cemento viene utilizzato anche per la realizzazione di blocchi per muratura che hanno ovviamente tutti i limiti della materia prima con cui sono realizzati e l'unico pregio del basso costo. Più interessanti dal punto di vista bioedile sono i blocchi per muratura realizzati con cemento unito a elementi diversi come le fibre di legno mineralizzate, l'argilla espansa, la polvere di alluminio. Quando la qualità del cemento è certificata questi blocchi, pur non raggiungendo nei complesso le qualità dell'argilla, hanno buone prestazioni dal punto di vista dell'accumulo termico, della coibenza, della traspirabilità e della resistenza al fuoco.

La pietra

Anche la pietra è un materiale storicamente utilizzato in modo molto diffuso ma, per motivi principalmente legati al notevole impatto ambientale derivante dalla cavazione, il suo uso è tollerabile solo per limitati interventi decorativi, per interventi di recupero o quando il materiale provenga da riuso di elementi provenienti dalle demolizioni. E' in ogni caso poco consigliabile utilizzare questo materiale quando ha un forte contenuto di radioattività naturale come nel caso della maggior parte dei graniti o delle pietre di origine vulcanica come il tufo.

3.6.3. I MATERIALI PER LE FINITURE SUPERFICIALI

La calce

Anche la calce appartiene al gruppo dei materiali "base" della bioedilizia. Possiede infatti ottime qualità biologiche, diffusa reperibilità, basso contenuto energetico in fase produttiva. Viene usata come legante per malte e intonaci e come componente per pitture. In entrambi i casi garantisce alle murature trattate ottime doti di traspirabilità.

La calce eminentemente idraulica (silicato di calcio, silicato bicalcico), quando non è frutto di trasformazioni industriali del cemento ma è di origine naturale così come la conoscevano i romani ai tempi delle loro grandi opere di ingegneria, può molto spesso sostituire il cemento nei massetti, nei sottofondi, negli intonaci rustici garantendo a queste opere maggiore traspirabilità, assorbimento, coibenza, doti fondamentali soprattutto negli intonaci per garantire regolazione termoigrometrica e quindi condizioni microclimatiche interne positive ed equilibrate.

Il grassello di calce o calce spenta (idrato di calcio) è invece il materiale base per i lavori di finitura e soprattutto per gli intonaci dove garantisce in modo coerente il

completamento del pacchetto di muratura secondo i criteri già esposti ovvero quelli della regolazione termoigrometrica e della traspirabilità e insieme risultati estetici, nelle innumerevoli varianti di grande pregio offerte dalla tradizione costruttiva regionale italiana.

Il gesso

Il gesso naturale, da non confondere con il gesso chimico che l'ha progressivamente sostituito nei cantieri, ha buone caratteristiche dal punto di vista bioedile ed è quindi consigliabile per interventi di alto valore decorativo nelle finiture d'interni.

3.6.4. I MATERIALI DA COPERTURA

L'argilla

La bioedilizia propone un'immagine della casa assimilabile a quella di un organismo vivente che deve necessariamente essere protetto da una pelle impermeabile ma traspirante che gli consenta uno scambio continuo tra interno e esterno. La nostra pelle da questo punto di vista è un prodotto eccezionale. Imparare dalla natura quindi e preferire per le coperture quei materiali che hanno queste caratteristiche ovvero in particolare quindi di nuovo l'argilla cotta che, per le sue ottime proprietà, se viene garantito il rispetto delle attenzioni esposte precedentemente, è da consigliare anche per la realizzazione di tegole.

Il metallo e il cemento

Le coperture metalliche o quelle in cemento sono meno consigliabili per i motivi già esposti.

3.6.5. I MATERIALI DA PAVIMENTAZIONE E DA RIVESTIMENTO

Il legno e l'argilla

In questo campo la tradizione produttiva italiana è veramente di grande qualità e ricchezza tecnica e formale. Escludendo ovviamente i materiali sintetici, i materiali per la pavimentazione ed il rivestimento sono in bioedilizia sempre principalmente quelli già più volte ricordati che per questo possono essere considerati dei veri archetipi del costruire nonostante i numerosi tentativi di sostituirli. Il legno e l'argilla sono infatti onnipresenti in questo settore in forma di parquet e di piastrelle in cotto, gres, klinker,

ceramica. Uno spazio marginale occupano invece i pavimenti tessili in fibre vegetali (cocco, sisal ecc.) o animali (lana) che per i problemi igienici legati all'accumulo di polvere, acari e altri microrganismi vanno usati con molta parsimonia. Per quanto riguarda il legno valgono ovviamente le considerazioni già fatte sul suo trattamento. Un parquet verniciato con una vernice poliuretanica perde molte caratteristiche proprie del legno e diventa oggettivamente un pavimento 'sintetico'. Per quanto riguarda la ceramica va ricordato che le altissime temperature di cottura a cui l'argilla è sottoposta determinano una vetrificazione del materiale che gli fa perdere le sue doti di assorbenza e traspirabilità in cambio di una, a volte necessaria, impermeabilità. Piccole superfici impermeabili all'interno di una costruzione non alterano ovviamente le sue caratteristiche complessive. Va ricordato comunque che l'industria ceramica italiana ha un forte impatto ambientale determinato soprattutto dai prodotti utilizzati per la decorazione, spesso coloranti sintetici o a base di metalli pesanti pericolosi. Una scelta di sobrietà può quindi aiutare i fiumi e i suoli delle zone di produzione.

3.7. I MATERIALI COIBENTI

Il consistente impiego di materiali non rinnovabili, il costo energetico della produzione, l'elevato impatto ambientale, la tossicità dei composti chimici contenuti, questi e altri motivi concorrono a determinare un bilancio ecologico molto negativo per i materiali per la coibentazione termoacustica di origine petrolchimica.

Le doti richieste dalla bioedilizia ad un materiale per la coibentazione termoacustica sono: la traspirabilità, l'igroscopicità, la resistenza al fuoco, a muffe, funghi, insetti, roditori senza l'utilizzo di prodotti sintetici, l'assenza di odore, l'assenza di radioattività, la capacità di essere elettricamente neutro, la sostenibilità ambientale.

3.7.1. MATERIALI COIBENTI VEGETALI

Il sughero

Il sughero viene prodotto dalla corteccia di una pianta mediterranea, la quercia da sughero (*Quercus suber*) Questa pianta ha la particolarità di produrre una corteccia composta da un tessuto cellulare spugnoso, morbido e resinoso costituito da milioni di alveoli che si stratificano lentamente, la corteccia, una volta asportata, si riproduce nell'arco di 10 anni. Dalla polpa pulita della corteccia si ricava un granulato che, con diverse sezioni, può essere utilizzato senza ulteriori lavorazioni come ottimo materiale coibente in intercapedini di murature, pavimenti e coperture oppure, legato con calce o vetrificanti minerali specifici, nei massetti sottopavimento. Il granulato di sughero può

altresì essere agglomerato in pannelli per l'effetto combinato del calore e della compressione. Per essere di buona qualità il sughero granulare deve essere privo di residui legnosi, di terra e di polvere, elementi questi che favorirebbero l'insorgere di muffe. Il sughero in pannelli non deve essere legato con colle sintetiche che oltre alla loro pericolosità (cessione di formaldeide) riducono fortemente le qualità principali del materiale ma dalle capacità autocollanti della suberina, la parte resinosa del materiale, che sottoposta a calore si scioglie legando naturalmente i granuli a raffreddamento avvenuto. I pannelli di sughero tostato o espanso hanno ottime capacità coibenti, non impiegano colle sintetiche ma l'alta temperatura a cui la materia prima viene sottoposta brucia la suberina e il tannino liberando benzopirene prodotto naturale ma tossico e dall'odore sgradevole . Anche nel caso del sughero sono quindi fondamentali le certificazioni e il controllo di qualità sul prodotto. In sintesi il sughero è un ottimo materiale coibente per la bioedilizia solo se proviene da pura polpa di corteccia di sughero priva di ogni elemento estraneo, ventilata ed eventualmente aggregata in pannelli per effetto combinato di solo calore e compressione, In questo caso le sue caratteristiche sono l'ottimo potere coibente termico e acustico, la grande traspirabilità, l'impermeabilità, l'inattaccabilità da insetti e roditori.

I pannelli di legno mineralizzato

Con le fibre di legno (in genere di pioppo, pianta a rapido accrescimento vengono realizzati pannelli con ottime qualità bioedili. Il processo produttivo si basa sull'utilizzo di ossisolfato di magnesio (magnesite caustica e solfato di magnesio) sostanza che impregna, lega e mineralizza le fibre del legno. Un impasto di fibre di legno e ossisolfato di magnesio viene sottoposto ad alta temperatura e compressione e quindi formato in pannelli. In questo modo il legno perde le parti organiche deperibili e si mineralizza assumendo oltre alle sue già note proprietà di coibentazione termica e acustica, di traspirabilità, di igroscopicità e di inattaccabilità da insetti e roditori, un'ottima resistenza al fuoco.

I pannelli in fibra di legno

Dagli scarti delle segherie (riciclaggio di cortecce e rami di conifere non trattate chimicamente) proviene la fibra di legno, materia prima per la produzione di pannelli coibenti, le fibre di legno vengono aggregate senza compressione per effetto del potere collante della lignina resina naturale presente nella fibra stessa. Il prodotto ottenuto è

completamente biodegradabile e riciclabile e si presta ottimamente a diversi impieghi nella coibentazione termica e acustica di pavimenti, pareti e coperture.

Fibra di cellulosa riciclata

Altro materiale con buone capacità di coibentazione termoacustica e con l'ottimo pregio della provenienza da riciclaggio è la fibra di cellulosa ottenuto mediante una speciale tecnica di trasformazione della carta dei quotidiani che, grazie all'utilizzo di componenti minerali naturali in genere sali di boro), la rende non infiammabile, inattaccabile dalle muffe, dai roditori e dagli insetti. Il materiale viene insufflato nelle intercapedini di pareti e coperture.

Fibra di cocco, di iuta, di cotone, di lino

Ancora poco diffusi ma indubbiamente interessanti per le loro caratteristiche ecologiche (materie prime rinnovabili, riciclabilità ecc.) e per le loro doti di coibentazione sono i materiali derivati da altre fibre vegetali come il cocco, la iuta, il cotone, il lino. Naturalmente questi materiali devono essere accompagnati da adeguate garanzie e certificazioni riguardo alla loro provenienza da coltivazioni in cui non si sia fatto uso di prodotti chimici.

3.7.2. MATERIALI COIBENTI DI ORIGINE ANIMALE

Lana di pecora

Grazie alla sua particolare microstruttura la lana di pecora si propone come ottima e naturale alternativa alle fibre minerali per l'isolamento termico ed acustico. Oltre alle doti di coibenza e traspirabilità la lana ha grandi doti di igroscopicità, è cioè in grado di assorbire acqua fino ai 33% del suo peso senza apparire umida e di cedere lentamente l'acqua assorbita svolgendo quindi in modo ottimale il compito di equilibrare l'umidità relativa dell'aria. La lana è una materia prima rinnovabile e riciclabile con un bassissimo bilancio energetico (energia immesso in fase produttiva).

3.7.3. MATERIALI COIBENTI MINERALI

Alcune materie prime minerali hanno caratteristiche fisico tecniche interessanti per un loro uso in bioedilizia, ovviamente se non addittivate con prodotti sintetici di derivazione petrolchimica.

Calcio silicato

L'idrosilicato di calcio è un materiale poroso, prodotto in autoclave partendo da sabbie silicee, calce idraulica e una piccola percentuale di fibre di cellulosa con funzione di rinforzo. Con questo materiale si realizzano pannelli leggeri, molto resistenti a compressione, di grande precisione dimensionale e di facile lavorabilità, ininfiammabili e molto resistenti al fuoco, privi di radioattività e di emissione di polveri o altri agenti irritanti, traspiranti e riciclabili (per la produzione di cls).

Vermiculite, perlite

Si ottengono attraverso la frantumazione e la successiva espansione per effetto di alte temperature di minerali micacei per la vermiculite e di una roccia vulcanica per la perlite. Si possono usare a secco come riempimenti in intercapedini ma soprattutto come inerte per intonaci leggeri coibenti con buone prestazioni di coibentazione termoacustica. Va garantita l'assenza di radioattività. Anche se di origine naturale sono invece poco consigliabili in bioedilizia, se non in casi molto particolari, i materiali coibenti minerali a conformazione fibrosa.

Fibre minerali: lana di roccia, lana di vetro, amianto

La pericolosità delle microfibre, dopo decenni di uso indiscriminato, è oggi ormai purtroppo chiara a tutti per quanto riguarda l'amianto per la sua provata pericolosità. Grande attenzione va comunque rivolta anche all'uso di altri prodotti minerali fibrosi che possono liberare nell'aria dell'ambiente microfibre particolarmente irritanti per le mucose dell'apparato respiratorio. Nella produzione e nel confezionamento in pannelli di questi materiali sono per altro utilizzati prodotti collanti di origine petrolchimica.

Pitture, vernici, collanti

I materiali per il trattamento e la finitura superficiale di legno, intonaco, ferro così come i prodotti per l'incollaggio sono in genere i più dipendenti dall'industria petrolchimica. Oggi in questo settore produttivo vengono utilizzate circa 40.000 sostanze chimiche diverse che molto spesso vengono introdotte sul mercato senza una analisi attenta del loro grado di tossicità per gli esseri viventi e del loro impatto ambientale. Le conseguenze, a livello di impatto dell'intero settore produttivo, sono evidenti; meno evidente è stata fino a pochi anni fa la pericolosità dei materiali di derivazione petrolchimica per la vivibilità degli ambienti chiusi, dove anche livelli di cessione di

composti pericolosi molto bassi (per ogni singolo materiale) determinano per sinergia una miscela nociva.

In questo settore la bioedilizia propone il ritorno a materie prime collaudate dall'uomo in centinaia a volte migliaia, di anni di impiego, a volte reinventate attraverso un aggiornamento tecnologico, quello della cosiddetto "chimica dolce". Le materie prime utilizzate dalle ditte produttrici di materiali bioedili sono poche (circa 150) e sempre dichiarate, secondo una sorta di codice etico che richiede la massima trasparenza sulla biografia del prodotto: resine vegetali (dammar, pino, larice, colofonia...), oli vegetali (lino, tung, cartamo, soia, germe di mais...), cere vegetali (carnauba, condelilla del Giappone ..), gomme e colle vegetali (dragonite, gomma arabica, lattice di gomma...), spiriti vegetali(oli essenziali di agrumi, olio di rosmarino, alcool...), coloranti vegetali (reseda, indaco, alizarina, catecù, campeggio, verzino...), prodotti di origine animale (cera d'api, cocciniglia, gommalacca, caseina...), sostanze minerali naturali elaborate (gesso, talco, ocra, terre coloranti, farina fossile, bianco di titanio, borace ...)

3.7.4. I MATERIALI PER L'IMPERMEABILIZZAZIONE

Argilla, cere, oli

Le tecniche costruttive bioedili riducono ai minimi termini l'impiego di materiali impermeabilizzanti, favorendo al contrario la massima permeabilità degli elementi costruttivi di un edificio. I materiali di copertura e di protezione superficiale delle murature sono le tegole e gli intonaci, per natura traspiranti ed idrorepellenti. In casi particolari si può altresì ricorrere a materiali naturali che possiedono caratteristiche di impermeabilità, come l'argilla, le cere, gli oli. Con l'argilla, e in particolare con certi tipi specifici di argilla (come la bentonite), si possono realizzare strati impermeabili per proteggere fondazioni e murature contro terra in presenza di acqua. Con le cere e con gli oli si possono impregnare particolari carte di cellulosa o fibre riciclate, che si trasformano in guaine idrorepellenti per l'impermeabilizzazione sottotegola di copertura falda.

3.7.5. I MATERIALI PER LA DISTRIBUZIONE E LO SMALTIMENTO DELL'ACQUA

Argilla, acciaio

In questo settore i materiali sintetici hanno quasi del tutto soppiantato i materiali naturali. Il PVC che imperversa nei nostri cantieri, comincia ad essere sconsigliato in molte nazioni europee per la sua pericolosità e per la non riciclabilità. Le soluzioni

proposte dalla bioedilizia fanno di nuovo riferimento all'argilla come materia prima di base per la realizzazione di tubi in gres per lo smaltimento dell'acqua, che godono di un ecobilancio decisamente più favorevole. Per la distribuzione è da preferire l'acciaio inox, per le sue doti di garantita igienicità, in alternativa all'acciaio zincato.

3.8. IL CONFEZIONAMENTO DEI MATERIALI

Un'attenzione particolare merita il tema dell'imballaggio dei materiali per l'edilizia. Se materiali naturali ed ecocompatibili vengono confezionati in contenitori non riciclabili e non biodegradabili, si corre il rischio di vanificare le qualità del contenuto con un contenitore pericoloso per l'ambiente. Alcune ditte produttrici di materiali bioedili utilizzano sistemi di confezionamento e imballaggio ecocompatibili, altre non ancora; questa attenzione è di grande importanza.

Altro forte rischio di incoerenza si corre se in una costruzione bioedile, dove si fa uso di qualità ecologica controllati, la gestione del cantiere non è coerente alla realizzazione. Tutti conoscono le pratiche in uso corrente presso ogni cantiere edile: spreco di acqua, combustione di rifiuti delle lavorazioni (che spesso contengono materiali sintetici), interro di detriti e di scarti in occasione delle opere di sistemazione esterna. Di fatto, il cantiere si trasforma in una discarica incontrollata. In un cantiere bioedile pratiche come l'interro o la combustione vanno totalmente sostituite dalla raccolta differenziata, finalizzata a favorire l'eventuale riciclo o il corretto smaltimento. Per ridurre il consumo d'acqua si dovrebbero eliminare tutte le fonti di spreco e provvedere alla raccolta dell'acqua piovana, utilizzabile in quelle lavorazioni (e sono quasi tutte) che non richiedono l'impiego di acqua potabile.

4. COIBENTAZIONE

Come precedentemente discusso (3.2), i materiali richiesti per la coibentazione termoacustica di un edificio devono possedere doti di traspirabilità, igroscopicità, devono essere resistenti al fuoco, a muffe, funghi, insetti, roditori senza l'utilizzo di prodotti sintetici, devono essere inodore, privi di radioattività, elettricamente neutri ed infine ambientalmente sostenibili.

4.1. ISOLAMENTO TERMICO

Come tutti sappiamo, tra il corpo umano e l'ambiente circostante, vi è un continuo scambio di calore. Ciò consente all'uomo di autoregolare il "bilancio termico", attraverso la superficie cutanea, necessario per permettere un ottimale funzionamento del processo chimico biologico del metabolismo.

Chiaramente, se l'uomo viene a trovarsi in un ambiente a temperatura molto più bassa di quella, quasi costante, del suo corpo, a causa della grande migrazione di calore che si instaura fra il corpo e l'ambiente stesso, egli avvertirà una spiacevole sensazione di freddo.

Supponiamo invece adesso di trovarci in un ambiente avente temperatura dell'aria appena al di sotto di quella generalmente individuata come temperatura di comfort (e cioè, in periodo invernale, prossima ai 20°C), il quale sia delimitato da pareti, pavimenti e soffitti con temperatura superficiale molto bassa, prossima alla temperatura dell'aria esterna.

In questo caso, anche un minimo scarto, verso il basso, della temperatura dell'aria ambiente provocherebbe una sensazione di disagio; per contro, a parità di temperatura dell'aria ambiente, una temperatura superficiale delle pareti più elevata rispetto alla precedente, porta ad una maggiore sensazione di benessere. Ciò perché, in quest'ultimo caso, la temperatura ambiente risulta più uniforme nel suo complesso e risultano così ridotte al minimo le correnti d'aria dovute alle differenze di temperatura.

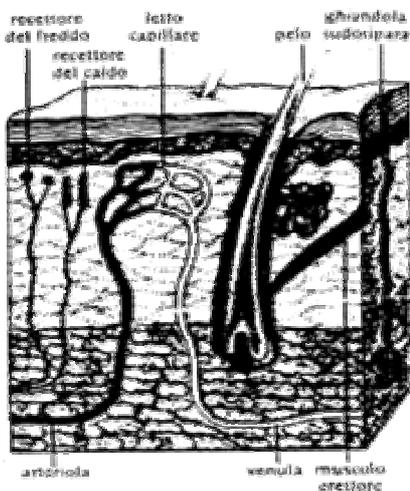
E' il concetto che viene sfruttato dagli impianti a "pannelli radianti" a pavimento, (ed anche a parete), i quali avvalendosi di una notevole superficie riscaldante possono funzionare con temperature di mandata del fluido termovettore relativamente basse (30/35°C), permettendo di ottenere una temperatura uniforme in tutto l'ambiente.

Con ciò è possibile impostare una minore temperatura dell'aria ambiente, a parità di comfort.

Risultato analogo può essere ottenuto con una buona coibentazione che sia in grado di innalzare la temperatura superficiale delle facce interne delle pareti esterne. Un ottimo risultato, a tal proposito, si ottiene tramite una coibentazione a cappotto interno mediante materiali che abbiano una "temperatura corporea" elevata; si elimina così la sensazione della parete fredda (e non solo la sensazione) e quindi si ottiene un analogo livello di comfort, pur diminuendo di un grado o due la temperatura operante in ambiente. Ciò consente un notevole risparmio energetico ed una migliore qualità dell'aria.

4.1.1. IMPORTANZA DELLA TRASPIRAZIONE

PELLE UMANA



Sezione trasversale di pelle umana che illustra le strutture interessate alla regolazione della temperatura. Quando fa freddo le arteriole si restringono riducendo il flusso di sangue nei capillari, e i peli, ognuno dei quali ha un piccolo muscolo erettore sotto controllo nervoso, si drizzano. Sotto alla pelle c'è uno strato di grasso sottocutaneo che serve da isolante, mantenendo il calore nei tessuti del corpo sottostanti. Quando la temperatura aumenta, le arteriole si dilatano e le ghiandole sudorifere secernono un liquido salato. L'evaporazione di questo liquido raffredda la superficie della pelle, dissipando calore (approssimativamente 5,40 - calorie per ogni grammo di H₂O).

La pelle dell'uomo, molto sottile, delicata e sensibile, assicura funzioni molteplici e tali da influenzare fortemente lo stato generale di salute del nostro organismo.

- Nella pelle sono presenti le ghiandole sudoripare, la cui primaria funzione è quella di mantenere la temperatura del corpo umano attorno ai 37 °C riversando all'esterno attraverso i pori il loro contenuto liquido; le piccole gocce di sudore si distribuiscono sull'intera superficie dell'epidermide e quando evaporano sottraggono calore alla stessa, esercitando così una poderosa azione refrigerante che evita pericolosi innalzamenti termici corporei.
- Altra funzione di vitale importanza è quella legata all'espulsione dei residui metabolici. Se queste sostanze rimanessero in circolo nel corpo, sarebbero causa di effetti putrefattivi e degenerativi, che avvelenerebbero irrimediabilmente il corpo e la mente (... alla stregua di una porzione di Arsenico).
- Infine, ma non ultima, la nostra pelle si incarica di assolvere in misura più limitata anche le funzioni comunemente svolte dai polmoni, espellendo anidride

carbonica ed assumendo contemporaneamente ossigeno. Attraverso piccoli canali, la nostra pelle respira, quindi la completa otturazione di questi pori porta, senza alternativa, ad una rapida morte per asfissia.

A questo punto appare abbastanza chiaro perché la pelle deve respirare: limitando o riducendo tale capacità (come ad es. indossando un impermeabile) il vapore acqueo tenderà a depositarsi sul lato interno, inibendo l'azione refrigerante e producendo un accumulo eccessivo di calore, causando una diffusa sensazione di malessere con il rischio di un vero e proprio "colpo di calore".

L'abbigliamento (come seconda pelle) ed il muro (come terza pelle), concetto base della bioedilizia, devono essere in grado di respirare al pari della nostra prima pelle, altrimenti verrebbero pregiudicati il nostro benessere e la nostra salute.

Ci siamo dilungati in questa piccola descrizione dei meccanismi fisiologici della nostra pelle in quanto la sua struttura, composizione, unitamente alle numerose funzioni vitali che assicura, sono (in senso lato) perfettamente estensibili ed equiparabili alle funzioni che una casa, una parete, un coperto dovrebbero sempre garantire.

4.1.2. ISOLAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE, PROBLEMI IGROMETRICI

Nelle abitazioni le persone presenti in un ambiente producono (con la respirazione e la traspirazione) una notevole quantità di vapor d'acqua (ogni persona emette, con il respiro, circa 40 gr/h di vapore); inoltre, una ulteriore fonte di incremento di tale vapore, è rappresentato da bagni e cucine.

Il vapore presente nell'ambiente (interno) tende naturalmente a migrare attraverso le pareti perimetrali (compreso il tetto) dal caldo verso il freddo, per disperdersi all'esterno, sempre allo stato gassoso.

Perché tale fenomeno possa verificarsi senza inconvenienti è necessario che il vapore non ostacoli lungo la sua strada: brusche diminuzioni di temperatura (ad esempio sulla superficie di contatto con uno strato isolante) o forti aumenti della resistenza alla sua diffusione (ad esempio barriere di protezione di strati isolanti degradabili o intonaci esterni plastificati impermeabili al vapore) ne provocano la condensazione in acqua nello spessore della parete.

L'acqua così prodotta inumidisce la parete provocando una drastica diminuzione della coibenza della parete stessa, cosicché il reale grado di isolamento termico corrisponde sempre meno a quello teorico. Inoltre, l'acqua di condensazione finisce per affiorare sull'intonaco, provocando macchie, muffa, etc. e nel caso di intonaci o rivestimenti

esterni impermeabili al vapore, può facilmente verificarsi, nel giro di qualche anno, il rigonfiamento ed il distacco dell'intonaco stesso.

E' quindi chiaro che le pareti esterne (compreso il tetto) devono essere permeabili al vapore e contemporaneamente isolanti.

4.1.3. POLMONE IGROMETRICO

Molte volte parlando delle biomalate si parla di polmone igrometrico. Che cosa si intende con questo termine?

In generale parlando di materiali da costruzione, per creare un ambiente sano e confortevole dal punto di vista dell'abitabilità è necessario che i valori di umidità e di qualità dell'aria al suo interno siano contenuti entro valori particolari.

Ad esempio un intonaco a base cementizia ha una scarsa traspirabilità e quindi scambierà poca aria con l'ambiente esterno per cui l'aria, all'interno dell'ambiente, risulterà "viziata" in breve tempo; non solamente, ma il vapore che viene prodotto dalle persone all'interno di questo ambiente, se non ha la possibilità di scaricarsi all'esterno si condenserà sulle pareti con conseguenti fenomeni dei superfici bagnate e di eccesso di umidità all'interno.

Pertanto per evitare questi fenomeni è necessario che tutto l'edificio abbia la possibilità di "respirare" e di interagire con l'ambiente esterno.

Quindi il materiale che costituisce la tamponatura delle varie sezioni abitabili dell'edificio deve essere poroso, igroscopico e traspirante. Le ultime due caratteristiche sono legate alla prima e cioè a quella della porosità.

Infatti un intonaco a calce che possiede una porosità ben superiore a quella di un intonaco cementizio è traspirante; permette cioè lo scambio di aria con l'esterno ed è igroscopico; permette cioè di cedere ed assumere vapor acqueo regolando il microclima abitativo, mantenendo così l'umidità relativa ad un livello ideale per una ottima vivibilità dell'ambiente.

Per i motivi sopra elencati parliamo appunto di "polmone idrometrico" quando ci riferiamo a costruzioni dove la cosiddetta terza pelle è formata da murature ed intonaci traspiranti ed igroscopici.

4.1.4. COEFFICIENTE DI RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DI UN GAS (μ)

Il μ è un coefficiente adimensionale, quindi un numero semplice senza alcun riferimento ad alcuna unità di misura, che esprime quanto impermeabile sia un materiale nei confronti di un gas, in comparazione con l'aria nelle stesse condizioni.

Questo coefficiente, che esprime la resistenza alla diffusione di un gas è caratteristico di ogni pittura, degli intonaci e di altri materiali da costruzione.

Poiché questo valore va sempre riferito allo spessore del materiale in esame è possibile trovare valori uguali per due materiali diversi. Anche lo spessore sarà però diverso come appare dalla tabella che segue. In questa tabella vengono indicati i valori di resistenza alla diffusione del vapor acqueo di vari materiali, quali una malta, una malta additivata, una pittura lavabile, una pittura alla calce ed una ai silicati.

Accanto al μ esiste anche un altro valore e cioè l'equivalente in colonna d'aria: questo valore esprime la colonna d'aria in metri che offre la stessa resistenza di una pittura o di una malta al passaggio di un determinato gas (vapor acqueo nel nostro caso).

Possono venir presi in considerazioni anche altri gas quali ad esempio l'anidride carbonica, quando si vuole conoscere la protezione che una pittura offre al calcestruzzo per evitare la carbonatazione dello stesso. Nel nostro caso prendiamo in esame solamente il vapor d'acqua.

Nel ciclo complesso dell'applicazione delle biomalte e delle pitture a finire è necessario fare molta attenzione, specialmente nel caso degli intonaci deumidificanti, che tutto il ciclo mantenga una permeabilità adatta a scaricare all'esterno il vapor d'acqua e quindi l'acqua.

Per ottenere ciò il μ deve essere costantemente al disotto di un valore di ca 50.000 il che corrisponde ad un equivalente in aria di 4 m . Ciò per permettere un adeguato passaggio del vapor acqueo ed evitare così la formazione di condensa.

Le malte hanno un μ ben al disotto del valore suddetto. Però quando arriviamo alla rasatura ed ancor più alle pitture questo valore può essere superiore anche di molto al valore minimo di 50.000 e cioè di 4m, per cui non è più garantita la traspirazione e si possono avere fenomeni anche notevoli condensa.

Prodotto	Spessore	μ	Sd equivalente colonna d'aria
Intonaco a base gesso	10mm	3	0,03m
Malta di cemento	10mm	20	0,2m
Calcestruzzo convenzionale	30mm	70	2,1m
Intonaco a rasare per sistemi deumidificanti	20mm	11	0,2
Malta acrilica modificata con resina acrilica	3mm	250	0,75m
lavabile acrilico (35% PVC)	100 mic.	470	0,05m
Pittura a base hypalon	50 mic.	45.000	2,25 m
Poliuretano monocomponente non pigmentato	80 mic.	43.300	3,5m
Pittura alla calce	300 mic.	200	0,01
Intonachino alla calce	850 mic.	50	0,004
Pittura ai silicati	150 mic.	300-500	0,002-0,04
Pittura alla calce	150 mic.	200	0,01
Spatolato alla calce	850 mic.	50	0,004

Mic=micrometri; 1 micrometro= 1/1000 mm

Tenere presente che per avere una buona traspirabilità il coefficiente Sd (o colonna d'aria equivalente) deve essere inferiore a 4m, pari ad un μ inferiore a 50.000

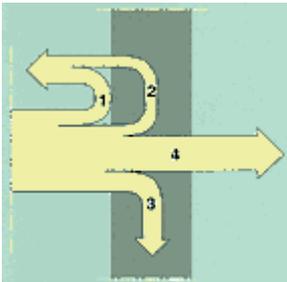
4.2. ISOLAMENTO ACUSTICO

I suoni ed i rumori, siano essi in natura aerea (voci, musica) o meccanica (calpestio, urti), si trasmettono attraverso le strutture mettendole in "vibrazione". A loro volta, queste vibrazioni, dai solidi si trasmettono all'aria degli ambienti confinanti, riproducendo le onde sonore che vengono così percepite, anche suo malgrado, da chi vi si trova presente.

Per attenuare la trasmissione di queste vibrazioni attraverso le strutture, è necessario porre lungo il loro percorso uno strato di materiale isolante che ne smorzi l'intensità, sarebbe meglio impedire che il rumore arrivi a toccare la struttura.

Si possono definire "isolanti acustici", quei materiali caratterizzati dalla proprietà di non entrare in vibrazione sotto l'effetto delle onde sonore, (non divenendo a loro volta, sorgenti sonore).

L'energia sonora quando colpisce una parete si distribuisce nel modo seguente:



- 1) parte dell'energia sonora incidente viene rinviata per riflessione speculare o diffusione;
- 2) parte penetra nella parete e, per particolari proprietà elastiche della stessa, restituita al primo ambiente;
- 3) parte si trasmette all'interno della parete e viene dissipata nella massa della parete stessa (trasformandosi in calore);
- 4) parte, infine, penetra nella parete e l'attraversa seguendo la via di piccoli meandri che possono in essa esistere. Ovviamente la ripartizione dell'energia incidente, come mostrato nel disegno, è puramente indicativa e può variare in funzione della natura dei materiali costituenti la parete e della frequenza dell'energia incidente.

La costituzione porosa del sughero fa sì che quando l'onda sonora ne colpisce la superficie, l'aria contenuta nei piccoli canali interni, viene ad essere animata da un rapido moto oscillatorio: per effetto della dissipazione viscosa, buona parte dell'energia acustica viene così trasformata in calore e trattenuta nel materiale.

4.2.1. VALUTAZIONE APPROSSIMATIVA DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO.

Il livello sonoro del rumore trasmesso è tanto più debole quanto più la parete è pesante: una parete pesante ha dunque un potere fonoisolante più elevato di una parete leggera. Questa è la legge della MASSA. Sperimentalmente è stato dimostrato che il

potere fonoisolante medio di una parete semplice aumenta di 4 dB quando la massa risulta moltiplicata per 2 e diminuisce di 4 dB quando la massa è divisa per 2. Esempio: se un muro ha un potere isolante di 20 dB, un muro del peso doppio non raggiungerà i 40 dB, ma soltanto i 24 dB circa.

Avremo invece i 40 dB se costruiremo due muri vicini (cioè una parete doppia) con una certa camera d'aria fra loro e, appunto di peso complessivo doppio. I muri non dovrebbero però essere di uguale massa, poichè altrimenti potrebbero entrare in vibrazione contemporaneamente, possedendo la stessa frequenza critica.

4.2.2. ISOLAMENTO ACUSTICO DELLE PARETI

La trasmissione del suono per via aerea, è il caso che riguarda più da vicino le pareti esterne ed anche quelle divisorie interne. I sistemi per limitare la trasmissione dei rumori provenienti per via aerea dall'esterno (cioè trasmessi attraverso l'aria) sono molteplici ma spesso urtano contro due esigenze contrastanti:

- 1) il fonoisolamento richiede barriere costituite da materiali pesanti (in modo che per la loro messa in vibrazione sia necessaria una elevata quantità di energia),
- 2) i sistemi costruttivi attuali richiedono soluzioni "leggere" e quindi pareti estremamente labili e trasparenti al rumore.

In linea generale per ottenere un buon fonoisolamento bisogna operare con delle pareti sandwich, composte cioè da mattoni in laterizio (anche di diverso spessore) e pannelli di sughero naturale supercompresso per usare al meglio sia il contrasto fra le frequenze di risonanza, sia le capacità di riflessione e di assorbimento del sughero stesso.

5. IL TETTO BIOLOGICO

Il tetto costituisce senza dubbio una delle parti più delicate della casa dal punto di vista bioecologico poiché oltre a doverla proteggere dagli elementi climatici e artificiali (rumori, polveri, ecc...) deve nel contempo consentire un'adeguata permeabilità alle radiazioni cosmiche e una buona traspirabilità, cose che i materiali attualmente in uso non sempre garantiscono. Ad esempio una struttura portante completamente in calcestruzzo è sconsigliabile perché, oltre a non garantire una corretta traspirabilità può provocare distorsioni del campo magnetico, cosa che invece non avviene se si utilizza il legno.

Per quanto riguarda invece i materiali isolanti, i pannelli comunemente usati in poliuretano o pvc espanso a cellule chiuse garantiscono un coefficiente di isolamento quasi doppio rispetto al legno o al sughero ma non lasciano passare vapore ed aria e quindi, essendo completamente impermeabili, possono creare problemi di condense e muffe.

L'utilizzo di materiali biocompatibili nella realizzazione di un tetto consente di ottenere, anche nel sottotetto, un ambiente sano e confortevole sia d'estate che d'inverno e con un notevole risparmio energetico.

5.1. I SISTEMI VENTILATI

La copertura ventilata rappresenta uno dei tradizionali sistemi costruttivi della casa lignea, dove, la distribuzione della zona notte sotto le falde spioventi del tetto, poneva il problema della protezione dal caldo nei mesi estivi.

In altre culture tecnologiche ed in altri climi, la protezione dal caldo la si otteneva tramite sistemi costruttivi pesanti dotati di forte inerzia termica: si pensi alla grande massa della volta di pietra di un "trullo", o al tetto piano ricoperto da uno spesso strato di argilla della casa delle regioni desertiche.

Il tetto in legno, invece, che ha un peso largamente inferiore a 150 kg/mq, anche se opportunamente coibentato per i mesi invernali, senza il sistema della ventilazione, non garantirebbe il comfort necessario dei locali sottotetto durante i mesi caldi

5.1.1. IL TETTO VENTILATO

Ricerche, studi e sperimentazioni hanno ormai individuato che se non si realizza un adeguato sistema di ventilazione al di sotto delle tegole si possono innescare violenti fenomeni di precoce "invecchiamento dei materiali", quali la comparsa di funghi su

listelli di supporto (con pericolo di fare marcire i materiali), la diminuzione di resistenza agli urti delle tegole e la possibilità di fenomeni di gelività quando il materiale è imbibito d'acqua.

Attorno alla tegola, di qualsiasi materiale essa sia, deve poter circolare aria: questo permette di evitare il ristagno di umido con i già citati effetti nocivi e diminuisce gli "shock termici" in quanto tende ad eliminare le differenze di temperatura tra il di sopra e al di sotto della tegola.

Si tratta di creare una lama d'aria tra il manto di copertura in tegole ed i pannelli isolanti sottostanti; in questo modo il surriscaldamento della superficie esterna della tegola innesca un moto ascendente dell'aria nell'intercapedine, che sale verso il colmo, aspirando aria dalla gronda.

Questo accorgimento diminuisce enormemente la quantità di calore trasmesso dalle tegole alla struttura sottostante, sia per effetto della ventilazione. Se si considera che nelle nostre regioni nei mesi estivi le tegole di un tetto raggiungono temperature che oscillano intorno ai 70°C (come avere sopra la casa un enorme termosifone) è facile immaginare l'importanza del distacco della tegola dalla sottostruttura isolata.

Il sollevamento delle tegole si ottiene tramite una doppia listellatura incrociata, opportunamente fissata all'isolante, sulla quale vengono avvitate (o inchiodate) le tegole fornite dell'apposito foro. Il sistema dei coppi posati con la listellatura presuppone uno strato isolante oppure l'interposizione di un tavolato di chiusura sufficientemente rigido, compatto e incompressibile, tale da sopportare il peso delle tegole e dei sovraccarichi e sostenere l'avvitatura dei listelli.

5.1.2. L'IMPORTANZA DELLA CIRCOLAZIONE D'ARIA

La ventilazione apporta numerosi benefici tecnico-funzionali, fra i quali:

- smaltisce il vapore acqueo che trasmigra dagli ambienti sottostanti prima che condensi sull'intradosso freddo delle tegole;
- d'estate tiene ventilato il solaio di copertura espellendo l'aria calda prima che il calore si trasmetta agli ambienti sottostanti;
- d'inverno distribuisce il calore che sale dall'alloggio evitando irregolari scioglimenti localizzati del manto nevoso;
- espelle ed asciuga eventuali infiltrazioni dovute alla concomitanza di forti piogge e vento o all'assorbimento caratteristico delle tegole.

La circolazione di questa lama d'aria, per la prestazione che è in grado di fornire, è indispensabile in ogni tipo di tetto a falde, dato che la maggior parte delle funzionalità

della copertura sono legate al fatto che il tetto possa "respirare", che possa cioè avere uno scambio da e con l'atmosfera che gli consenta di mantenere ad un livello termoigrometrico idoneo alla propria massa.

5.1.3. MICROVENTILAZIONE SOTTOTEGOLA MACROVENTILAZIONE SOTTOMANTO

La microventilazione sottotegola e la macroventilazione sottomanto rappresentano i due tipi di "circolazione d'aria" attivabili nel tetto.

La microventilazione è quella che deve circolare fra i coppi e le tegole, e risulta indispensabile per smaltire o evitare il ristagno di umidità dovuti alla porosità dei prodotti, a condensazioni, ad infiltrazioni, etc. e diminuisce gli shock termici in quanto tende ad eliminare le differenze di temperatura fra il di sotto e il di sopra delle tegole. Per realizzare questa microventilazione si ricorre, generalmente, alla posa delle tegole su una listellatura semplice di legno.

La macroventilazione sottomanto si attiva invece fra il tavolato di chiusura e lo strato isolante e, oltre a collaborare con la microventilazione, svolge un'azione particolare in rapporto alle diverse condizioni climatiche. In estate l'aria esistente nello strato sotto le tegole si riscalda per l'effetto dell'irraggiamento solare e crea una corrente ascensionale verso l'alto. L'aria calda esce dagli sfiati posti sulla linea del colmo richiamando aria più fresca dalle aperture di gronda. In questo modo il soffitto mantiene una temperatura uguale o di poco superiore a quella esterna. È ovvio che se le uscite d'aria non risultassero "libere" si creerebbe un tappo che ostacolerebbe ogni circolazione.

In inverno invece, la camera di ventilazione costituisce un'efficace intercapedine tra l'interno e l'esterno della casa, mantiene il materiale isolante sempre arieggiato ed asciutto evitando che si creino condense, gocciolamenti e muffe.

Il movimento dell'aria (con diverso grado e fino a determinati valori) è direttamente proporzionale alla temperatura esterna, alla pendenza della falda e allo spessore dell'intercapedine di ventilazione.

6. IL LEGNO

6.1. IL LEGNO NELL'ARCHITETTURA

La storia dell'uomo è la storia del legno. Fin dagli albori della civiltà, questo materiale è stato utilizzato per i più vari impieghi e con molteplici finalità, grazie alla sua facilità d'approvvigionamento e per l'agevole lavorabilità.

Ma soprattutto il legno ha dimostrato la sua peculiare utilità nelle costruzioni, per i notevoli vantaggi che offre quali la leggerezza e la praticità di movimentazione e posa in opera. A questi si aggiungono: la possibilità d'impiego nelle più svariate situazioni strutturali (soprattutto per gli elementi infissi) e nella costruzione di strutture mobili quali ponteggi, o strutture provvisorie come la prefabbricazione abitativa; la facilità di riparazione e sostituzione degli elementi ammalorati e deteriorati; la possibilità di essere recuperato e reimpiegato.

In ogni caso, il legno ha da sempre trovato, nel corso dei secoli, i più svariati utilizzi, diversificati da cultura a cultura, passando dalle costruzioni più elementari alle architetture più articolate e moderne. Basti pensare alle palafitte costruite dall'uomo primitivo o alle complesse costruzioni egiziane, per arrivare al sapiente utilizzo che questo materiale ha incontrato presso Etruschi e Romani. In particolare, nell'architettura romana, un significativo esempio è rappresentato dalle insulae (l'unità abitativa del ceto medio urbano) costruite con un graticcio di legno ad orditura regolare (il cosiddetto opus craticium o costruzione intelaiata) riempito generalmente di muratura o calcina. Frequente è anche l'utilizzo della capriata, soprattutto nei più importanti edifici del periodo paleocristiano, estesi poi all'architettura romanica e gotica nei secoli successivi. Anche nel Medioevo il legno venne largamente impiegato per la realizzazione di coperture, solai, ballatoi e ponti, sia per un fattore prettamente economico sia per la leggerezza, la facilità e la rapidità di lavorazione rispetto ad altri materiali quali la pietra o il laterizio.

Questi fattori hanno favorito l'affermazione del legno in campo edilizio in paesi nordici quali Svezia, Danimarca, Norvegia, dove veniva e viene tutt'oggi impiegato per la realizzazione di complesse strutture ad aste e pali portanti. E' però sicuramente la Germania il paese europeo che, per cultura e vasta presenza di foreste sul proprio territorio, ha approfondito la scienza del costruire con il legno, sviluppando conoscenze e competenze tramandate nel corso dei secoli fino ai giorni nostri attraverso numerose corporazioni. Corporazioni che hanno dato vita a una rinomata scuola, altamente specializzata, per il conseguimento della qualifica di maestro carpentiere.

L'impiego del legno è limitato in genere alla realizzazione di solai, soppalchi, ballatoi e coperture (travi e capriate). In ogni caso, questo materiale risulta comunque insostituibile per risolvere esigenze di quando non possono essere messe in opera volte, cupole o strutture particolarmente pesanti e quando, a causa di eccezionali eventi distruttivi, si manifesti la necessità di una rapida ricostruzione.

In Italia, l'utilizzo del legno nella realizzazione di strutture architettoniche ha conosciuto in tempi recenti fasi alterne: così, dopo un lungo periodo di oblio, in cui il materiale era stato praticamente relegato a usi marginali, si è negli ultimi anni verificata una progressiva rivalutazione. Le ragioni di questa inversione di tendenza sono molteplici. Certamente determinanti sono state le variazioni del contesto economico in cui si è evoluta l'edilizia, così come la sempre crescente ricerca della qualità. Il mercato si è orientato inoltre verso il recupero del patrimonio esistente, ed è cambiato l'atteggiamento culturale dei progettisti e dei committenti verso questo materiale.

Questo materiale risulta ormai insostituibile per risolvere esigenze di copertura quando non possono essere messe in opera volte, cupole o strutture particolarmente pesanti e quando, a causa di eccezionali eventi distruttivi, si manifesti la necessità di una rapida ricostruzione.

6.2. LA NATURA DEL LEGNO

Il legno è la materia prima fornita dagli alberi, composta da idrogeno, carbonio ed ossigeno, caratterizzata da tessuti che si differenziano in base alle funzioni che devono assolvere.

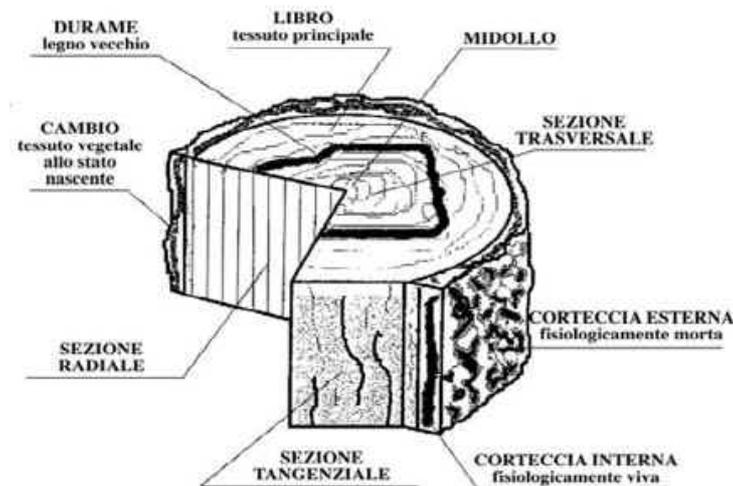
Il tronco, la parte dell'albero dal quale si estrae il legno, svolge la duplice funzione di elemento conduttore delle sostanze e di sostegno. Pertanto deve resistere alla compressione, esercitata dal peso di rami e foglie, e alla trazione, alla quale lo sottopongono di continuo i venti. Le caratteristiche meccaniche dei tronchi si sono perciò selezionate, nel corso del tempo, per assicurare la sopravvivenza alle specie legnose anche in ambienti ostili: la robustezza è indispensabile al sostegno della pianta, mentre la flessibilità è necessaria per resistere alla forza dei venti, che soffiano in varie direzioni. Per questo motivo il legno presenta elevati valori di resistenza alla trazione.

La forma e la composizione chimica delle pareti delle cellule vegetali determinano i caratteri di resistenza e, al tempo stesso, di elasticità dei tessuti legnosi. Tali pareti sono infatti costituite da più strati, formati da microfibrille, molto resistenti, con disposizione elicoidale, che si chiamano cordoni micellari. Ciascuno di essi è a sua volta formato da 50/100 molecole di cellulosa. La robustezza dei legami e la disposizione elicoidale (sia

delle macromolecole di cellulosa sia dei fasci di fibrille) spiegano le caratteristiche di robustezza e al tempo stesso di elasticità delle fibre vegetali.

Per permettere il collegamento fra il terreno e la chioma il tronco è dotato di numerosi canali, formati da cellule vegetali vuote all'interno, con apertura centrale (lume) di piccole dimensioni, e perciò tale da permettere la risalita dal suolo, per capillarità, dell'acqua, dei composti azotati, e di altri elementi in soluzione.

6.2.1. ANATOMIA DEL LEGNO



La figura mostra le varie parti che compongono il tronco.

La sezione di un tronco si presenta formata da diversi tessuti disposti in fasce concentriche che indicano le varie fasi di crescita dell'albero.

All'esterno si trova la corteccia, la parte esterna che copre tutto l'albero come una pelle, a volte sottile come nella betulla, a volte spessa come nella quercia da sughero. E' composta da una zona parenchimatosa corticale, dal fallogeno e dal sughero. Spesso è profondamente fessurata, con rialzi sugherosi. La porzione più esterna fisiologicamente è morta, serve come protezione della superficie del tronco dagli agenti atmosferici, dagli insetti, dai traumi e consente gli scambi gassosi necessari alla vita della pianta. La sua caratteristica strutturale nasce dal fatto di essere sempre esposta a tutte le variazioni climatiche ambientali. Questa parte dell'albero non ha molte applicazioni e usi, si fanno turaccioli e materiali isolanti, oggettini di artigianato e, affettata molto sottile, si usa anche nelle tappezzerie per pareti.

Procedendo verso l'interno si trova il libro, lo strato più recente, formato da fibre elastiche nelle quali circolano le materie nutritive. Queste circolano nell'albero dal centro (midollo) alla periferia portate dai raggi midollari. I raggi midollari hanno una

costituzione spugnosa e formano quindi una zona di minore resistenza. Man mano che l'albero invecchia, si comprimono, le materie nutritive non circolano più e i raggi tendono ad atrofizzarsi.

Lo strato più interno dopo il libro è il cambio: tessuto elastico formato da cellule provviste di una sottile membrana di cellulosa. Durante il periodo annuale di crescita dell'albero il cambio forma gli anelli, che rappresentano le zone di accrescimento annuale. Dal numero degli anelli si può determinare l'età di una pianta.

Internamente al cambio si trova l'alburno, nuovo legno in formazione; molto delicato, marcisce facilmente, è la parte giovane, fisiologicamente attiva e destinata soprattutto alla funzione conduttrice.

Nella parte più interna c'è il cuore o durame: legno maturo e vecchio, compatto, perchè i raggi midollari in questo strato si sono ormai lignificati e non conducono più linfa vitale ma continua a offrire il sostegno meccanico; spesso è impregnato di sostanze antiputrescenti. Le fibre degli anelli di crescita si sono strette sempre di più fino a scomparire. Il durame aumenta sempre di più man mano che i vasi linfatici si lignificano dall'interno verso l'esterno del tronco. Si distingue dal resto per colore e compattezza, è il legno che si lavora per molti usi. A livello commerciale è la parte più pregiata, perché essendo la parte più vecchia della pianta è quella più stabile e meno soggetta agli attacchi di parassiti.

Al centro del tronco si trova il midollo, formato da cellule molli e spugnose, in genere di colore chiaro, che durante l'invecchiamento si contrae sempre di più e in alcuni alberi scompare completamente.

Tutti questi tessuti sono composti da cellule di aspetti e forme diversi, per lo più di forma fusiforme, che si distinguono facilmente al microscopio. Fra una cellula e l'altra si trovano gli spazi intercellulari, entro cui scorrono, secondo il tipo di pianta, i canali portatori di resine oppure di oli essenziali.

Nel fusto si distinguono il tessuto meccanico fondamentale di sostegno, formato da cellule allungate (fibre) parallele all'asse dell'albero e destinate a reagire alle sollecitazioni esterne, il tessuto conduttore, con cellule dette "vasi" o "trachee", disposte verticalmente e destinate al trasporto dei succhi, il tessuto parenchimatico o di riserva, con cellule nastriformi disposte orizzontalmente e contenenti le sostanze di riserva, e il tessuto secretore, con cellule tubiformi disposte sia in verticale che in raggi orizzontali.

(Lavori in Legno - © Arnoldo Mondadori Editore S.p.A.)

6.2.2. LEGNO OMOXILO ED ETEROXILO

Le piante che forniscono la maggior parte di legname da costruzione sono le conifere (o resinose), cioè quelle che danno frutti a forma conica, e che producono resina, come il pino, l'abete, il larice, il cipresso, ecc. e le latifoglie (o dicotiledoni), caratterizzate da foglie larghe e piatte, come il castagno, il faggio, il frassino, la quercia, il pioppo, l'ontano, ecc.

Nelle conifere entrambe le funzioni di trasmissione della linfa e di sostegno meccanico della pianta sono svolte dalle tracheidi. Si tratta di cellule tubolari, della lunghezza di 3 millimetri, che quando si formano in primavera presentano pareti sottili, in modo da favorire soprattutto la funzione conduttrice; in autunno, invece, le pareti si ispessiscono e lo spazio interno si riduce, privilegiando soprattutto le funzioni di resistenza della pianta. Nelle latifoglie, invece, il tronco è costituito da due tipi di cellule tubolari: le fibre, specializzate nelle funzioni meccaniche, sono nettamente assottigliate alle estremità, hanno pareti spesse, costituite da fasci resistenti, le quali sostengono il peso della pianta, mentre i vasi, che assolvono le funzioni di trasmissione, presentano un lume largo e sono privi di membrana orizzontale. Ogni anno, col cambiamento di stagione, si formano nell'anello esterno cellule nuove.

Nelle conifere il legno primaverile è costituito da tracheidi più grandi, con pareti sottili, che si ispessiscono durante l'autunno, diminuendo l'ampiezza del lume. Il legno delle conifere è perciò definito omoxilo, perché non vi è una vera e propria differenza qualitativa fra cellule primaverili e autunnali. Il legno delle latifoglie si dice invece eteroxilo, a causa della differenza anche qualitativa delle cellule, che a primavera sono costituite essenzialmente da vasi, e in autunno soprattutto da fibre.

6.3. IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

Come materiale costruttivo il legno ha il vantaggio di resistere bene a trazione e a compressione, di essere poco sensibile agli sbalzi termici con basso coefficiente di dilatazione termica, oltre a garantire una certa facilità di lavorazione e buone doti d'isolamento termico. Molti difetti che il legno può presentare dipendono dalla sua natura intrinseca (fratture, deviazioni della fibratura, nodi, cipollature, presenza di tessuti di reazione), mentre altri sono essenzialmente legati all'umidità ambientale, che tende a provocare variazioni dimensionali e quindi deformazioni, screpolature e spaccature.

6.3.1. TIPOLOGIE DI LEGNO UTILIZZATE IN EDILIZIA: MASSICCIO E LAMELLARE

Il legno massiccio permette utilizzi molto svariati e per strutture anche notevoli. Si possono costruire, ad esempio, capriate di luce fino ai 18-20 metri grazie a collegamenti in lunghezza delle travi di catena (incastro a saetta o di Giove) oppure si possono ottenere travi di sezione elevata grazie alla sovrapposizione e al collegamento delle travi con particolari elementi metallici (travi composte).

Il lamellare invece, nato dalla ricerca tecnologica con lo scopo di ovviare ai punti deboli ed esaltare i pregi del legno, è ottenuto dall'incollaggio di tavole (lamelle) ottenendo travi composte prodotte industrialmente con forme e lunghezze condizionate solo da problemi di trasporto. Il lamellare consente inoltre le più svariate soluzioni tecniche essendo un materiale in continuo studio ed evoluzione.

6.3.2. LE ESSENZE E LE LORO CARATTERISTICHE

Le numerosissime qualità di alberi che crescono sulla terra sono state classificate in vari modi. Un raggruppamento è quello che distingue le conifere resinose dalle latifoglie; un altro è quello che raggruppa i legni di essenza tenera, forte e resinosa; un altro ancora distingue gli alberi europei da quelli esotici.

Legni dolci

Hanno fibre tenere più o meno allungate, di facile lavorabilità e messa in opera, ma non presentano grande resistenza. Tra le essenze più comuni di questa categoria ci sono il pino, l'abete ed il pioppo; tuttavia esistono alcune essenze come il faggio, l'olmo ed il frassino che, seppure per la loro resistenza apparterrebbero alla categoria dei legni forti, avendo delle fibre meno dense, corte e discontinue vengono usate alla stessa stregua dei legni dolci, quindi soprattutto per farne ponteggi, armature, piccole centine e serramenti.

Legni forti

Caratterizzati da fibre dense e compatte, sono molto duri e tenaci, difficili da lavorare ma dotati di grande resistenza. Tra i legni forti più comuni ci sono la quercia, il rovere, il cerro, il leccio, il larice, la noce e l'olivo.

6.3.3. LE SPECIE LEGNOSE

Tra le essenze che più sono state utilizzate nell'edilizia storica possiamo ricordare le seguenti:

Abete bianco

Diffuso nell'Europa centromeridionale, ha legno tenero, di colore biancastro o giallo rosato opaco, con debole odore dolciastro o rancido da fresco e anelli annuali ben distinti e regolari con passaggio brusco tra la zona primaverile e la zona autunnale. E' meno pregiato dell'Abete rosso poiché ha una struttura più irregolare e una maggiore tendenza alla cipollatura e di conseguenza minore durata. Si lavora abbastanza facilmente, veniva usato soprattutto nella costruzione di solai, infissi interni e ponti per i cantieri.

Abete rosso

Così chiamato per il colore rossastro della corteccia, cresce nelle zone montane e può raggiungere anche i 50 metri di altezza e superare il metro di diametro. È oggi, come un tempo, la varietà di legname più diffusamente impiegata nelle costruzioni e in carpenteria, sia sotto forma di legno normale intero che incollato.

Ha legno tenero di colore biancastro o giallognolo, leggermente lucido con debole odore resinoso. Presenta sacche di resina, nodi dovuti ai rami, fibra diritta, buona stabilità. Gli anelli annuali sono ben distinti e regolari, la presenza di canali resiniferi genera grande resistenza all'umidità, anche se non è molto durevole. Era utilizzato soprattutto per le travi.

Pino silvestre

Diffuso in Europa sino al Circolo Polare Artico, può raggiungere un'altezza di 30 m e un diametro di 0,70 m. Ha legno tenero, con grandi resiniferi, durame rosato o bruno rossastro ed alborno biancastro, anelli distinti e regolari con una transizione piuttosto brusca tra la zona primaverile e la spessa zona autunnale. E' molto lavorabile e ha discrete doti intrinseche.

Castagno

Diffuso dal bacino del Mediterraneo al Caspio, può raggiungere i 30 metri di altezza. Ha legno semiduro differenziato, a durame bruno e largo, alborno bianco giallastro; gli anelli sono abbastanza identificabili per un cerchio poroso di vasi nella zona primaverile. Il maggiore pregio del Castagno è la lunga durata, soprattutto della sua parte centrale (durame). Non è consigliabile esporlo alle intemperie perché tende ad imputridire ed è facilmente attaccato da funghi ed insetti, soprattutto nell'alborno. In passato serviva soprattutto per la realizzazione dei tetti e degli infissi, sia interni che esterni.

Cipresso

È un legno piuttosto duro, di colore giallo bruno con anelli chiari e irregolari, tessitura fine e fibratura spesso deviata dai nodi. Ha un odore molto penetrante, resiste bene ai parassiti e alle intemperie, infatti in passato veniva usato soprattutto per i serramenti.

Larice

Presente nell'Europa centrale e sulla catena alpina, può superare i 35 metri di altezza e il metro di diametro. Ha corteccia di colore rossastro più intenso dell'abete e scaglie più grosse. Ha un alburno modesto e un durame resinoso di colore rosso-bruno; gli anelli sono regolari, la tessitura fine-media, la fibratura dritta e presenta abbondanti vasi resiniferi. Le sue caratteristiche più importanti sono la durezza, la buona resistenza meccanica e il piacevole aspetto caratterizzato da toni di rosso bruno e porporino. Usato prevalentemente in ambienti umidi per la sua buona durata e resistenza all'umidità ha però tendenza alla torsione, caratteristica non apprezzata in carpenteria. Ha avuto un uso intensissimo in tutta l'edilizia del passato, soprattutto nell'arco alpino per le abitazioni.

Pioppo

Ne esistono diverse varietà tutte con colore bianco-giallastro, alburno esteso anelli ben differenziati e durame bruno nel pioppo nero; la tessitura può essere sia fine che grossolana e la fibratura è generalmente dritta, anche se spesso presenta nodi, cipollature o deviazioni. Il pioppo resiste bene all'attacco degli insetti xilofagi ed in passato era utilizzato soprattutto per solai, portoni ed infissi.

Quercia

È un'essenza molto diffusa con molte specie, fra cui le più utilizzate sono il rovere, la farnia ed il leccio. Nelle diverse specie l'alburno è giallognolo e ben differenziato dal durame, di colore bruno o rossiccio; i raggi midollari sono grandi e gli anelli ben individuabili, mentre la tessitura è grossolana, la fibra generalmente regolare (tranne nel leccio). La quercia è un legno duro e pesante con un durame piuttosto resistente all'attacco dei funghi ed una durabilità piuttosto buona. Nel passato è stata usata soprattutto per travature e pavimenti. Nonostante la buona attitudine del legno a conservarsi nel tempo il contatto con l'esterno lo porta a subire diversi fenomeni di degrado che possono essere di tipo fisico-chimico, oppure di tipo biologico.

6.3.4. LEGNO LAMELLARE

Il processo di produzione del legno lamellare incollato viene compiuto in appositi stabilimenti e consiste essenzialmente nella riduzione del tronco in assi e nella loro ricomposizione, tramite incollaggio, fino a dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilite. Le lamelle, superati i test dell'umidità e del controllo visivo, vengono unite di testa con giunzioni o innesti multipli a "becchi".

La colla è spalmata a pioggia, sulle lamelle appena piallate, che vengono quindi sovrapposte a coltello, e poi pressate fra contrasti disposti in modo che il pezzo finito abbia la configurazione desiderata.

Dopo 12 ore si può disarmare la morsa (in realtà si tratta di uno stampo) e l'elemento lamellare può passare al reparto finitura (perfetta profilatura, piallatura, impregnatura o verniciatura).

La tecnologia del legno lamellare ha aperto nuovi orizzonti all'impiego del legno nel campo strutturale. Con questo si possono infatti realizzare travi con sezioni di grandi dimensioni ottenute da tavole selezionate e incollate tra di loro che presentano migliori caratteristiche meccaniche e maggiore stabilità dimensionale rispetto al legno massiccio.

Il lamellare viene pertanto impiegato soprattutto in strutture soggette ad elevate sollecitazioni, per le quali si rivela più idoneo del legno massiccio. Rispetto a questo offre infatti nuove prestazioni e differenti caratteristiche fisico-meccaniche. Altro importante aspetto del legno lamellare è legato alla possibilità di curvatura, e alla possibilità di realizzare elementi strutturali il cui limite dimensionale è determinato solo dall'ingombro di trasporto. Elementi questi che, uniti all'elevato pregio estetico, ne fanno una delle tecnologie più versatili, in grado di coniugare capacità strutturali e libertà espressiva, per la realizzazione di coperture complesse e di grandi dimensioni. In ogni caso, la qualità del legno lamellare rimane comunque strettamente legata alla qualità del materiale di base con cui è prodotto e alla cura posta nei processi di lavorazione.

Per questo occorre sottoporre il legno ad un attento esame, per verificare la presenza di eventuali difetti quali un eccessivo numero di nodi, imbarcamento o cipollature. Si dovrà quindi procedere al taglio dell'estremità delle assi al fine di eliminare screpolature e fessurazioni di testa.

Una specifica attenzione verrà infine posta al processo di essiccazione, in modo che il legno raggiunga il grado di umidità compatibile con il tipo di collante che verrà impiegato, e confacente con il luogo in cui verranno messe in opera le strutture.

Caratteristiche peculiari del lamellare sono:

- leggerezza (circa 1/5 del calcestruzzo)

- notevole resistenza agli agenti aggressivi esterni
- elevato isolamento termico e acustico
- standardizzazione della produzione
- necessità minima di manutenzione.
- Migliori caratteristiche meccaniche

Occorre infine registrare l'infondatezza del pregiudizio che ne limita l'impiego come elemento strutturale in quanto giudicato pericoloso in caso di incendio. Inoltre, il legno lamellare, sottoposto all'azione della fiamma, mantiene intatta la sezione resistente e possiede una velocità di carbonizzazione ridotta (0,7mm/min) .

6.4. PREGI E CARATTERISTICHE DEL LEGNO

Numerosi sono i pregi che fanno del legno uno dei principali materiali da costruzione e, in particolare per quanto riguarda la tradizione edilizia del nostro Paese, per la realizzazione di tetti.

Leggerezza, economicità, elevata resistenza a compressione e a trazione, inattaccabilità da parte di agenti chimici, "stabilità" termica (essendo quasi non dilatabile al variare della temperatura), capacità termoisolante e facilità di lavorazione sono i punti di forza del legno rispetto agli altri materiali.

Tra gli svantaggi possiamo invece annoverare la non omogeneità costituzionale e l'anisotropia tridimensionale dovute l'una alla diversità degli elementi costituenti e l'altra al loro orientamento; la sensibilità alle variazioni di umidità ambientale (igroscopia); la sensibilità all'azione deteriorante da parte di insetti, microrganismi o funghi; gli eventuali difetti costitutivi del tessuto legnoso (nodi) e le deviazioni della fibratura, che ne possono diminuire la resistenza e, infine, l'infiammabilità.

6.5. COMPORTAMENTO NELL' AMBIENTE

Il legno degli alberi allo stato naturale possiede un elevato grado di umidità dovuto alla linfa circolante nel fusto. L'acqua nel legno può essere contenuta allo stato libero, all'interno del lume cellulare, oppure può essere legata alla parete cellulare. Una volta che l'albero viene abbattuto, la circolazione si arresta e l'umidità contenuta nel corpo legnoso comincia a diminuire in seguito al processo di evaporazione. Inizia in questo momento il fenomeno di essiccazione, comunemente chiamato stagionatura. A questo proposito occorre sfatare l'opinione per cui più lungo è il tempo trascorso dal taglio minore è l'umidità residua nel legno. In realtà il legno esposto all'aria non

raggiunge mai, anche in tempi lunghissimi, la secchezza assoluta (stato anidro) ma perviene soltanto a un equilibrio igrometrico con l'ambiente. Inoltre il fenomeno di adeguamento del legno all'umidità dell'ambiente esterno è in continuo divenire. In effetti, il legno manifesta un continuo interscambio di umidità con l'aria e solo in presenza di uguaglianza delle pressioni tra i due mezzi si ha l'equilibrio igroscopico e il legno raggiunge la cosiddetta "umidità di equilibrio". Se l'umidità del legno è più elevata dell'umidità di equilibrio, il legno trasferisce umidità all'ambiente (fenomeno di essiccazione o desorbimento). Se l'umidità del legno è inferiore all'umidità di equilibrio, l'umidità si trasferisce dall'ambiente esterno al legno (fenomeno di inumidimento adsorbimento). Per cui, essendo l'igroscopicità del legno una proprietà naturale permanente e non eliminabile, il raggiungimento dell'equilibrio igroscopico del legno con l'ambiente risulta inevitabile.

Si potrebbe, per assurdo, affermare che il punto debole del legno come "materiale da lavoro" è quello di essere un "materiale organico", ossia morto fisiologicamente ma fisicamente vivo e per questo strettamente legato a quel sistema fisico "legno-acqua-aria" che ne genera i "movimenti" a cui si deve la sua instabilità.

Per questo, durante l'essiccazione, il legno attraversa due momenti critici di vulnerabilità dovuti a:

- attacco da parte di funghi e insetti, con conseguenti alterazioni cromatiche, disintegrazione, gallerie;
- azione di ritiro, con il manifestarsi di tensioni interne, variazioni dimensionali, deformazioni e fessurazioni.

Risulta ovvio che tanto in fase progettuale che costruttiva occorre tenere in debita considerazione tutti questi aspetti al fine di sfruttare al meglio le potenzialità di questo prezioso materiale.

L'umidità del legno utilizzato per la realizzazione di manufatti in edilizia dovrebbe presentare, in linea di principio, uno stato di equilibrio igroscopico con l'aria dell'ambiente in cui è posto in esercizio, altrimenti l'interscambio di umidità potrebbe provocare ritiri, rigonfiamento o tensioni con conseguenti fessurazioni, distacchi o deformazioni.

In realtà, il clima dell'aria cambia continuamente tra il giorno e la notte, tra i periodi di diversi giorni e tra le stagioni, presentando oltretutto notevoli differenze fra l'esterno e l'interno dei fabbricati. Occorre quindi avere ben presente qual è il livello di equilibrio igroscopico della specie utilizzata e la dinamica dei suoi "movimenti" stimando quale sia quello prevalente (ritiro o rigonfiamento).

6.6. PROPRIETA' FISILOGICHE CHE INTERESSANO IL RISANAMENTO

Le proprietà fisiologiche che interessano il risanamento del legno sono la porosità e l'igroscopia.

- Porosità: varia in rapporto al numero dei vasi.
- Igroscopia: subordinata alla struttura del legno, rappresenta la sua proprietà di assorbire ed espellere umidità. I legni molto porosi hanno un forte potere igroscopico derivato dall'ampiezza dei vasi e di conseguenza subiscono un notevole movimento di ritiro e di dilatazione.

Per umidità del legno si intende la quantità di acqua contenuta all'interno delle sue fibre; generalmente, viene indicata quantizzando la percentuale di acqua in peso rapportata ad un campione di legno allo stato anidro (secco). Negli alberi se ne riscontra un tasso medio intorno a valori del 150-200%; nel legno lavorato varia in funzione alle condizioni termoigrometriche dell'ambiente circostante e varia in funzione delle dimensioni e dei trattamenti protettivi effettuati su di esso. In climi con temperature costanti (20°C e 65% di umidità relativa), il legno si equilibra su valori di umidità del 12% circa, mentre in climi asciutti si riscontrano valori del 6-8%. Se l'umidità ambientale circostante è molto elevata, intorno a valori del 30-32%. Più il legno è permeabile all'acqua più si degrada, tuttavia, la sua capacità di assorbire liquidi costituisce un vantaggio in caso di ritiro e della dilatazione è legato alla porosità e all'igroscopia che producono continui movimenti all'interno della massa legnosa, questi movimenti sono provocati dalla variazione della temperatura e dell'umidità ambientale. La variazione del tasso di umidità del legno, sia al di sopra che al di sotto del punto di saturazione, determinano variazioni di dimensione. Inoltre a causa dell'anisotropia, questi movimenti avvengono in modo opposto rispetto all'orientamento delle fibre del legno. Le variazioni dimensionali si verificano:

- tangenzialmente agli anelli di circa 8 - 10%
- sulla superficie radiale di circa 3 - 5%
- lungo le fibre di circa 0,1%.

I dati (riferiti a legno stagionato di media porosità) variano lungo l'asse per la presenza di nodi e altre discontinuità. Inoltre, l'umidità determina l'imbarcamento, l'arenatura, la falcatura e lo svergolamento del legno; deformazioni, queste, che a volte, sono prodotte da una pessima stagionatura o da un taglio poco accurato del tronco.

6.7. LE CAUSE DEL DEGRADO DEL LEGNO

Il legno possiede una naturale capacità a conservarsi nel tempo , ma questa sua proprietà, spesso, viene annullata da fattori degradanti quali:

- l'erosione fisica che si verifica a causa di violente sollecitazioni per l'azione del gelo, del vento e dei raggi solari;
- l'erosione chimica che si verifica a causa di sostanze aggressive sia di tipo industriale che domestico;
- l'erosione biologica che avviene a causa di infestazioni prodotte da insetti e funghi;
- patologie varie che sono determinate da malformazioni congenite della struttura lignea.

6.7.1. DEGRADO FISICO - CHIMICO

I fattori che più frequentemente danno origine a fenomeni di degrado di tipo fisico chimico sono di tipo ambientale, ovvero la luce, il calore, la pioggia e l'umidità. Mentre la luce ed il calore dell'ambiente tendono a causare nel legno delle alterazioni cromatiche, la pioggia scioglie i prodotti della lignina provocando una perdita di cellule (soprattutto nell'anello di crescita primaverile) e facendo assumere al legno la classica colorazione grigiastra che si vede di frequente. L'umidità, che può derivare sia dalle piogge che dalla condensa, provocando continui rigonfiamenti e ritiri, genera invece delle microfessure sulla superficie.

6.7.2. DEGRADO BIOLOGICO

Batteri, funghi e insetti possono essere considerati i principali nemici del legno, spesso abbinati all'umidità, che ne facilita l'attacco e la diffusione. Alcune specie legnose, come Larice, Pino, Quercia, Castagno, dispongono, soprattutto nel durame, di sostanze quali tannini, oleoresine, fenoli etc. che costituiscono una vera e propria difesa naturale nei confronti dell'azione dannosa di questi organismi nocivi. Per contro, altre specie come Abete bianco, Abete rosso e Pioppo, presentano una maggiore vulnerabilità all'attacco di insetti e funghi. Il sistema principale di lotta contro gli insetti è la prevenzione attuata con prodotti insetticidi mentre i sistemi di prevenzione contro i funghi si basano sull'utilizzo di prodotti fungicidi specifici.

6.7.2.1. LESIONI DA FUNGHI

I Funghi tendono ad intaccare la resistenza del materiale generando una consistenza spugnosa oppure provocando un particolare tipo di degrado molto frequente nel legno che è la carie. Possono essere di natura differente, quelli che maggiormente danneggiano il legno appartengono al gruppo dei Basidiomiceti.

Il processo di attecchimento dei funghi si sviluppa in due fasi: nella prima fase, il micelio si diffonde all'interno della struttura legnosa provocandone il degrado, mentre nella fase successiva, adattatosi all'ambiente, origina ulteriori insediamenti.

I Basidiomiceti si nutrono prevalentemente delle membrane cellulari del legno generando quel processo d'infestazione detto "carie".

Uno dei fattori necessari alla crescita dei funghi è l'umidità ambientale; un tasso di umidità del 20% della struttura lignea, ne consente la sopravvivenza, in seguito, il metabolismo stesso dei funghi provvede a mantenere sul legno il quantitativo di umidità sufficiente al loro sviluppo. Tra i funghi che maggiormente infestano il legno troviamo:

- *Coniophora puttana*, intesa come "carie bianca o umida", è un fungo poco pericoloso ma molto diffuso; si sviluppa in presenza di forte umidità, soprattutto nei legnami esposti all'esterno e quindi all'azione della pioggia, e attacca la lignina, cioè la sostanza responsabile dell'ispessimento e della resistenza del legno, che di conseguenza assume una consistenza spugnosa e morbida. L'attacco della carie bianca si può arrestare eliminando l'umidità dall'ambiente e sostituendo le parti attaccate con altre opportunamente trattate con dei fungicidi.
- *Serpula lacrymans*, comunemente intesa come "carie bruna o secca" è invece caratteristica di ambienti chiusi e poco ventilati, con presenza soprattutto di umidità di risalita, anche se non elevatissima; attacca la cellulosa con conseguente tendenza della lignina a fessurarsi e a formare dei cubetti (viene chiamata infatti anche carie a cubetti). L'attacco della carie bruna è ancora più grave di quello provocato dalla carie bianca, anche perché tende ad estendersi spesso anche al terreno ed ai materiali circostanti provocando un'erosione profonda e devastante. Difficile da debellare, polverizza la struttura interna del legno lasciandone intatti soltanto gli strati superficiali che, apparentemente, sembrano strani. L'esame del legno colpito dalla carie bruna deve essere accurato in modo da poter individuare non solo le crescite nascoste, ma anche l'estensione dell'infestazione nelle zone più inaccessibili. La si può arrestare eliminando le cause dell'umidità e soprattutto migliorando la ventilazione nell'ambiente, mentre le parti attaccate dovrebbero essere sostituite con altre trattate, avendo

cura di estendere l'azione del fungicida anche ai materiali che si trovano nelle vicinanze.

- *Poria vaillantii* e *Lentinus lepideus* hanno minore importanza per diffusione e tipo di danno.
- *Xestobium ruffovillosum*, necessitando di molta acqua, spesso prolifera nelle intersezioni tra travi e muratura.

Alti funghi che hanno bisogno di ambienti molto umidi per vivere e proliferare sono il *Penicillium* e l' *Aspergillus*. I deuteromiceti dimorano sugli intonaci colpiti dal fenomeno della condensa; sono poco dannosi per la struttura del legno in quanto alterano solo le vernici ed i colori che lo ricoprono. Le condizioni ottimali per la crescita dei funghi si determinano, quindi, in presenza di umidità, di ossigeno e di temperatura intorno ai 22°-26°C. Per prevenire la proliferazione si possono adottare i seguenti sistemi:

- impregnare il legno con consolidanti diluiti in sostanze velenose;
- tenere il legno in condizioni ambientali ottimali e, quindi, in luoghi poco umidi e ventilati;
- operare una costante ispezione e manutenzione dei punti in cui l'infestazione è più probabile che si verifichi (tegole, pluviali, gronde, ed impianti di adduzione e smaltimento delle acque).

6.7.2.2. LESIONI DA BATTERI

I Batteri agiscono in maniera piuttosto simile ai funghi e causano una specie di pietrificazione della cellulosa, ma la loro presenza è individuabile solo con indagine di laboratorio.

6.7.2.3. LESIONI DA INSETTI

Esistono molte specie di insetti ("tarli") che attaccano il legno. Questi vengono distinti in due grandi gruppi: insetti parassiti (attaccano esclusivamente gli alberi in piedi) e insetti saprofiti (attaccano tronchi di legname fresco e legname in opera). Tra gli insetti saprofiti sono molti quelli che si nutrono di sostanze presenti nel legno fresco; rimangono quindi poche specie che attaccano il legno stagionato in opera. Tra queste le più diffuse sono: il capricorno delle case (*Hilotrupes bajolus*), insetto dalle caratteristiche antenne lunghe, che attacca indifferentemente il legname di conifere e latifoglie posto in opera, e il tarlo del mobile (*Anobium punctatum*) che diversamente attacca solamente il legname da conifera.

Nel ciclo vitale degli insetti distinguiamo quattro stadi fondamentali: uovo, larva, crisalide e insetto. Dall'uovo fuoriesce la larva che, dopo un periodo di tempo (che varia a seconda della specie), durante il quale cresce e vive all'interno del legno, si trasforma in crisalide e successivamente in insetto adulto. I danni maggiori si verificano durante lo stadio larvale quando le larve scavano all'interno del legno gallerie per nutrirsi di cellulosa e sostanze azotate. Dopo lo stadio larvale, gli insetti volano all'esterno per accoppiarsi e, tornando nel legno per deporre le uova, sfruttano spesso i vecchi fori. A volte, insediandosi nell'alburno particolarmente ricco di cellulosa e carboidrati, lasciano apparentemente inalterata la superficie esterna del legno per cui può accadere che un osservatore poco esperto non si accorga di un'infestazione in stadio già molto avanzato. Fra le specie più dannose sono da annoverare i coleotteri, gli isotteri e gli imenotteri.

Coleotteri: si nutrono di idrati di carbonio, proteine e vitamine del legno; necessitano di temperature medio alte, luce e umidità moderata. Scavando gallerie provocano danni non solo estetici ma anche strutturali. La presenza è individuabile dal rosume, ovvero la mistura di materiale eroso e di escrementi che essi producono e che può rimanere depositato nelle gallerie oppure essere espulso esternamente, divenendo un utile segnale per individuare la presenza dell'attacco. Appartengono a questa specie i cerambicidi, gli anobidi, i curculionidi ed i lictidi. Tra i Coleotteri più comuni ci sono il Capricorno delle case ed il Tarlo dei mobili. Il primo è un Cerambicide dal ciclo evolutivo di sei anni che attacca soprattutto i legni secchi di conifere e produce alla sua uscita dei fori ovali di 6-10 mm. Il secondo è invece un Anobide di piccole dimensioni che attacca ogni tipo di legno, sia di mobili che di strutture, soprattutto in presenza di calore ed umidità, con un ciclo vitale di tre anni, durante i quali polverizza il legno per poi fuoriuscire da fori circolari del diametro di circa 1,5 mm. Nelle latifoglie a legno tenero, caratterizzate da grossi vasi, sono frequenti gli attacchi dei Lictidi, che vi depositano le uova e, nel loro ciclo vitale di un anno, scavano gallerie nel senso della venatura del legname, espellendo grandi quantità di rosume.

Isotteri (termiti): si nutrono esclusivamente di sostanze vegetali e per raggiungere le fonti di nutrimento restando al riparo dalla luce scavando lunghissime gallerie. Vivono in piccole colonie lontano dalla luce, in ambienti caldi e ricchi di umidità; attaccano il legno dall'interno, agendo soprattutto in corrispondenza dei punti d'attacco con la muratura, che presentano spesso alte concentrazioni di umidità. Rimanendo integra la pellicola superficiale del legno, è piuttosto difficile individuare la presenza dell'attacco da termiti, che spesso si palesa quando è ormai in stato avanzato, con il verificarsi di cedimenti o crolli.

Imenotteri: non nutrendosi di legno provocano danni più modesti

L'attacco degli insetti è comunque connesso alla presenza di alcuni fattori nell'ambiente come ad esempio l'umidità, dovuta sia ad infiltrazioni che a condensa, e la temperatura; le Termiti ad esempio prediligono le zone dove la temperatura invernale va sottozero, mentre i Coleotteri hanno un ciclo vitale più ridotto negli ambienti caldi e generano un'azione distruttiva ancora più intensa.

L'utilizzo di soluzioni preventive (impregnazione con prodotti ecologici antisettici e antiparassitari) rimane ancora il sistema più efficace nella lotta a questa specie di insetti.

6.7.3. DIFETTI

Da un punto di vista tecnologico i difetti possono essere indicati come imperfezioni che, pur essendo una caratteristica costitutiva del legno, ne riducono le prestazioni meccaniche. Per gli impieghi di carpenteria, i principali difetti sono indicabili nella presenza di fibratura deviata, nodi, fessurazioni da ritiro e cipollature. Così per contenere i fenomeni di ritiro e di rigonfiamento, occorre porre particolare attenzione al controllo dell'umidità media del legname e alla sua corretta stagionatura.

6.7.3.1. IL RITIRO

Se il legno non viene immerso subito in acqua subito dopo l'abbattimento inizia il processo di essiccazione a causa dell'evaporazione dell'acqua libera dalla superficie del legno.

Il raggiungimento dell'umidità di saturazione delle pareti cellulari negli strati periferici segna l'inizio della fase del ritiro e dell'apparire delle fessurazioni che dalla superficie del legno penetrano verso il centro.

La stagionatura del legno è accompagnata da variazioni dimensionali chiamate ritiri. Questi fenomeni si manifestano quando il legno ha perso tutta l'acqua libera e il livello di umidità scende al di sotto del punto di saturazione della parete cellulare (circa il 30% del peso secco). A seconda delle direzioni in cui si manifestano, i ritiri possono presentare differenze alquanto elevate.

Tre sono le diverse direzioni:

- assiale
- radiale
- tangenziale.

La prima, indicata come "direzione assiale", è quella lungo la successione delle fibre, disposte parallelamente all'asse del fusto. In questa direzione il ritiro è minimo e di regola non avvertibile ad occhio. Assai maggiore è il ritiro della sezione trasversale del fusto e di entità molto diversa a seconda se si considera la direzione radiale o trasversale, vale a dire dal midollo alla periferia, oppure la direzione tangenziale, e cioè lungo gli anelli.

In linea di massima, il ritiro tangenziale (circa 7%) può anche essere doppio rispetto al ritiro radiale (circa 3.5%). Questa diversità determina l'apertura di fessurazioni che partendo dal midollo giungono sino alla periferia, assumendo il tipico aspetto a "V".

6.7.3.2. LE FESSURAZIONI

Le fessurazioni da ritiro sono l'espressione della caratteristica anisotropica dei ritiri del legno quando nel pezzo è presente il midollo.

Si tratta di un fenomeno insito alla struttura del legno, cioè del tutto naturale: non dipendente quindi né da un'erronea lavorazione né da una stagionatura insufficiente o condotta in modo non corretto; ma soprattutto la loro presenza non è indice di cedimento strutturale e, quando non oltrepassano il midollo stesso, non devono essere considerate come un grave elemento di indebolimento.

Quando vengono messe in opera, le travi, se sufficientemente stagionate, presentano già le fessurazioni longitudinali. Se, viceversa, il legno non ha ancora raggiunto una condizione di equilibrio igroscopico con l'ambiente circostante, può darsi che le fessurazioni non compaiono ancora. Ma non bisogna illudersi: con la successiva stagionatura subentrerà il ritiro, con conseguente diminuzione delle misure di sezione e apertura delle fessurazioni longitudinali.

Una tecnica per ridurre le fessurazioni consiste nel tagliare la pianta in modo che da un singolo albero si ricavino due o più pezzi nel senso della sezione.

Con questo sistema l'anello circolare è interrotto là dove si manifesta il massimo ritiro (quello tangenziale), unito ad una stagionatura ottenuta anche con essiccazione da forno, offre ottimi risultati. Esistono comunque implicite difficoltà legate alla massima dimensione ottenibile dato che in questo modo le travi possono avere una sezione massima di circa 16x25 cm.

A volte, sia per motivi prettamente estetici sia perché si teme che possa diventare ricettacolo di polvere o di insetti, si potrebbe essere indotti a sigillare la fessurazione. Interventi di questo tipo però, oltre a impoverire la valenza estetica naturale del legno, potrebbero provocare seri danni. In seguito all'aumento o alla diminuzione dell'umidità

del legno, infatti, le fessurazioni tendono ad allargarsi o a restringersi. Una stuccatura troppo rigida potrebbe quindi impedirne i naturali "movimenti" di restringimento e provocare, di conseguenza, ulteriori tensioni interne e l'apertura di nuove fessurazioni.

6.7.3.3. LA CIPOLLATURA

Si tratta di un tipo di fessurazione tangenziale che si manifesta tra due anelli di accrescimento successivi oppure all'interno di uno stesso anello. Il difetto riscontrabile su diverse specie ma soprattutto su Abete bianco, Castagno e Quercia può apparire prima della messa in opera, ma può anche manifestarsi successivamente, e costituire quindi un serio pericolo in quanto comporta una diminuzione della resistenza dell'elemento strutturale. Pericolo reso ancor più insidioso dal fatto che questo difetto rimane per lo più occultato all'interno, e risulta quindi invisibile a un esame superficiale.

6.8. PRODOTTI E TECNICHE PER LA PRESERVAZIONE DEL LEGNAME

La maggior parte dei prodotti utilizzati per il trattamento del legname contengono una sostanza biocida e fungicida derivante dal petrolio. I prodotti utilizzati in bioedilizia sono completamente ecocompatibili ossia composti da sostanze naturali, minerali e vegetali. Si tratta di prodotti innovativi che mirano alla salvaguardia della salute perché non emettono alcuna sostanza nociva né durante né dopo l'applicazione. Sono inoltre totalmente compatibili con l'ambiente perché alla fine del loro ciclo utile si reintegrano nel ciclo biologico naturale.

Vengono utilizzati impregnanti naturali ai sali di boro in base acqua, che svolgono azione biocida, non sono volatili e, una volta evaporata l'acqua, il sale cristallizza proteggendo il legname. Inoltre, alcune sostanze che compongono il prodotto, come gli oli essenziali, resine e terpeni, etc., sono state ricavate dal legno e, con l'applicazione del prodotto ritornano al legno, rivitalizzando la materia. Gli estratti minerali che formano la pigmentazione del prodotto non sono fotosensibili e permettono dunque di preservare nel tempo la brillantezza del colore.

6.8.1. LA DISINFESTAZIONE

Si tratta di un intervento volto a combattere l'attacco biologico.

La scelta del tipo di intervento e dei prodotti più indicati per operare la disinfestazione si effettua in funzione degli insetti o dei funghi responsabili del danno e della natura del manufatto.

In genere per i funghi si ricorre a radicali interventi di deumidificazione e si usano prodotti fungicidi specifici disciolti in solventi organici con base attiva generalmente costituita da pentaclorofenolo e tributilossido di zinco. L'intervento chimico è comunque consigliabile solo quando si è sicuri che, una volta risanati gli ambienti, non si andranno a determinare nuovamente le condizioni favorevoli per un nuovo attacco.

Per eliminare gli insetti le soluzioni sono differenti e prevedono l'uso di appositi prodotti liquidi, in genere preparati organici diluiti in solvente e contenenti sostanze insetticide a base di organofosfati, carbonnati e piretroidi, miscelati con altre sostanze velenose che agiscono solo se ingerite, mentre il solvente genera una forte tossicità durante la fase di evaporazione. L'applicazione degli insetticidi sul legno può essere effettuata con metodi differenti:

- applicazione a pennello: è il sistema meno costoso ma non garantisce una sufficiente penetrazione del prodotto che, essendo miscelato con solventi organici dall'elevata tensione superficiale, provoca una scarsa percentuale di assorbimento.
- Applicazione a spruzzo: si realizza con spruzzatori portatili oppure a pressione; si può effettuare lo spruzzo per polverizzazione, per atomizzazione o per nebulizzazione a seconda del livello di penetrazione del prodotto che si vuole ottenere.
- Applicazione mediante immersione: è un sistema adatto alla disinfestazione di piccoli oggetti o di parti strutturali facilmente smontabili. Se si impiegano antisettici sintetici diluiti in solventi organici, che vanno bene per spessori inferiori ai 27 mm con umidità inferiore al 25%, si può fare un'immersione di pochi minuti, mentre per i legni poco stagionati e con umidità superiore al 35%, si usano antisettici salini idrosolubili e quindi occorre un'immersione più lunga.
- Applicazione mediante iniezioni: è adatta ad una disinfestazione più profonda e si effettua tramite dei fori in cui vengono inserite apposite cartucce per iniettare il prodotto a pressione, oppure si inseriscono appositi iniettori metallici o plastici collegati alla pompa che immette il disinfestante. La quantità di prodotto che viene assorbita dipende dalla sua natura e dallo stato del legno. Sulle superfici lucidabili o dipinte è consigliabile comunque iniettare l'insetticida attraverso i fori lasciati dai tarli. È sempre comunque necessario avere nell'ambiente delle

condizioni di buona ventilazione e proteggere gli intonaci, i manufatti di valore e le fonti di luce artificiale, mentre porte e finestre devono essere sigillate per evitare la fuoriuscita di gas tossici.

- Fumigazione: la disinfestazione del legno può avvenire anche con l'utilizzo di gas altamente tossici, solitamente quando si devono recuperare oggetti o mobili di dimensioni contenute, oppure sulle strutture, quando non si vogliono dismettere tegole o pavimenti per trattare coperture o solai, oppure ancora quando si devono poi applicare delle resine consolidanti e quindi si vuole evitare il deposito oleoso lasciato dai disinfestanti liquidi che limiterebbero l'impregnazione della resina. Come gas si usano generalmente il bromuro di metile, l'acido cianidrico ed il fluoruro solforico. Talvolta si ricorre a dei candelotti fumogeni che, a seguito di una reazione chimica, emanano particelle in grado di uccidere o sterilizzare i tarli.
- Altri metodi: ultimamente la ricerca ha messo a punto nuovi tipi di trattamento che utilizzano le radiazioni e gli ultrasuoni. Le applicazioni a base di radiazioni prevedono l'uso di onde radio ad alta frequenza, radiazioni gamma e raggi infrarossi. Tuttavia questi sono metodi che vanno scelti con molta ocularità poiché talvolta hanno riscontri negativi sul materiale, come le onde radio, che producono una temperatura altissima, o sono molto costose, o le radiazioni gamma, che hanno bisogno, tra l'altro, di una forte schermatura in piombo. Pochi infine sono i risultati ottenuti con gli ultrasuoni, ancora in fase di sperimentazione. Una tecnica da sperimentare è l'attacco biologico che consiste nell'allevare colonie di predatori, capaci di distruggere gli insetti dannosi per il legno.

6.8.2. CONSOLIDAMENTO

In seguito alle aggressioni biologiche, chimiche e fisiche, il legno tende a deteriorarsi anche nella sua struttura, perdendo gradualmente le originarie caratteristiche meccaniche. Al fine di arrestare, o quanto meno, di rallentare il deterioramento della sua struttura e di restituirgli, almeno in parte, le originarie caratteristiche meccaniche, si possono impiegare tecniche diverse in base al tipo di manufatto che si vuole risanare. Dunque andrà fatta, a livello di intervento, una differenza tra i manufatti con funzione essenzialmente decorativa, per i quali è sufficiente migliorare la difesa contro gli agenti degradanti, usando prodotti specifici, e quelli invece con funzione strutturale, per cui invece si deve provvedere a migliorare la resistenza meccanica in relazione ai carichi.

Per manufatti in cui, oltre alla resistenza ai carichi, propri o indotti, è necessario assicurare una protezione contro le aggressioni biologiche, chimiche o fisiche, occorre, prima di intervenire col consolidamento, operare una disinfestazione a scopo protettivo. I prodotti da utilizzare devono avere una viscosità piuttosto bassa, per garantire un'elevata capacità di penetrazione capillare, priva di pellicolazione superficiale, una sufficiente elasticità per compensare i movimenti delle fibre del legno, una minima presenza di solventi, in modo da inibire ritiri in fase di presa e una certa durabilità nel tempo, e una discreta resistenza all'umidità, ai raggi ultravioletti e a tutti quei fattori che accelerano il rapido deterioramento dei materiali. Le sostanze più utilizzate per il consolidamento del legno sono le resine (epossidiche, poliuretatiche, acriliche e poliesteri) che, pur fornendo i migliori risultati tecnici, non sono adatte al trattamento di opere d'arte per le quali i prodotti usati devono essere di provata affidabilità per trasparenza, reversibilità e inalterabilità cromatica. La ricerca ha recentemente dato risultati interessanti per quanto riguarda l'uso delle resine epossidiche, caratterizzate da ottime resistenza chimica, elevate proprietà meccaniche e discreta lavorabilità, e che possono essere anche additivate con insetticidi velenosi, a condizione che siano diluibili con solventi del tipo toluolo o xilolo e non presentino incompatibilità chimica con le resine. Nonostante tutto questo, quando non si hanno dati certi, è sempre utile ricorrere alle antiche formule protettive, a base soprattutto di cere, resine naturali, oli essiccativi e colofonia, che hanno comunque dimostrato, in diversi casi, di essere efficaci anche per lungo tempo.

6.8.3. PREVENZIONE E PROTEZIONE

Nel caso del legno la prevenzione ha un ruolo molto importante e la si può attuare a partire dalla fase di scelta del materiale, adottando una serie di accorgimenti, soprattutto nel trasporto, nella conservazione e nella messa in opera, per evitare circostanze favorevoli all'attacco di funghi o insetti.

È importante inoltre che l'ambiente in cui il legno viene posto sia sempre sotto controllo, con una certa aerazione e un'umidità limitata; in particolar modo per le travi di legno è fondamentale che nel punto d'attacco della testata alla muratura sia lasciato intorno alla trave uno spessore di circa 5 mm, perché non vi sia un contatto diretto del legno con la muratura, che potrebbe generare le condizioni favorevoli all'attacco. La protezione del legno viene invece effettuata tramite sostanze chimiche che lo rendono tossico e quindi repellente all'attacco di funghi, insetti ed organismi marini. I preservanti possono essere composti chimici semplici o miscele di diversi formulati; quelli che si trovano

attualmente in commercio sono sostanzialmente di tre specie: prodotti oleosi naturali, sostanze sintetiche in solventi organici e sali minerali solubili in acqua.

- Prodotti oleosi naturali: derivano dalla distillazione frazionata del catrame di carbone, da cui si ottengono anche altri prodotti come l'asfalto per la pavimentazione delle strade e altri composti che hanno poi diversi tipi di applicazione. Si usano molto gli oli di creosoto che agiscono soprattutto con l'acido fenico, la cui azione tossica per le crittogame è potenziata dall'azione degli oli viscosi che, seccando, si solidificano nei vuoti cellulari e bloccano l'accesso all'acqua, riducendo il dilavamento e l'evaporazione delle sostanze antisettiche.
- Sostanze sintetiche in solventi organici: sono preservanti introdotti di recente e costituiti da un composto attivo, insetticida e/o fungicida, disciolto in un solvente organico; riescono a dare al legno una protezione molto persistente, poiché le sostanze attive, insolubili nell'acqua, dopo l'evaporazione rimangono in profondità. Tra i solventi più frequentemente utilizzati si ricordano alcuni prodotti della distillazione del petrolio e l'acqua regia minerale, mentre per ottenere una funzione più specificatamente fungicida, si usano i naftenati di rame e zinco, i fenoli clorurati e i composti organici dello stagno e del rame.
- Sali minerali solubili in acqua: come solvente per i preservanti del legno l'acqua presenta diversi vantaggi, poiché, oltre ad essere a basso costo e largamente disponibile, penetra facilmente nel legno e non è tossica, tuttavia comporta anche degli svantaggi perché provoca instabilità dimensionale nel materiale, generando rigonfiamenti, imbarcamenti e spaccature da ritiro e perché i prodotti in essa disciolti sono facilmente dilavabili. Attualmente i preservanti di questo genere più usati sono il FACC (ammonio, rame, cromo), il CZC (cloro, zinco, rame) ed il CCF (rame, cloro, fluoro). Va infine ricordato che le industrie produttrici di preservanti per il legno, di fronte alla minaccia di vedersi vietare i propri prodotti, hanno ultimamente rivolto sempre maggiori sforzi nella ricerca e nello sviluppo di nuovi e più sicuri prodotti, cosiddetti di tipo "soft", biodegradabili e poco inquinabili. Tra gli insetticidi ad esempio, in sostituzione degli idrocarburi clorurati, vietati nel nostro paese, sono stati introdotti, con ottimi risultati, gli organofosfati, i carbammati, e soprattutto i piretroidi, assai meno pericolosi e già da tempo utilizzati nell'agricoltura.

7. IL SUGHERO

Il sughero è un prodotto naturale dalle proprietà eccezionali e anche se non molto conosciuto dai contemporanei, utilizzato da migliaia di anni dall'uomo per isolare, sigillare, proteggere.

Nessun materiale artificiale di "moderna" concezione è stato collaudato nel tempo quanto il sughero, nei più disparati impieghi.

Il sughero viene prodotto dalla corteccia di una pianta detta appunto "quercia da sughero" (*quercus suber*) appartenente alla famiglia delle fagacee. Si tratta di un albero sempreverde che può raggiungere anche i 20 metri di altezza, con foglie semplici a lamina coriacea, fiori unisessuali e frutti costituiti da ghiande ovoidali della lunghezza di 2-3 cm. Le radici sono sempre molto profonde e consentono alla pianta di resistere alla siccità. La "ricchezza" di questa pianta è però data dalla doppia corteccia: quella più interna è chiamata "madre" ed è composta da tessuti fibrosi nei quali scorre la linfa ed è ricoperta dal "fellogeno", che genera un tessuto morbido elastico e spugnoso, il sughero. L'habitat ideale della quercia da sughero è l'area mediterranea. Essa infatti predilige il clima mediterraneo e i terreni ricchi di potassa. Tali condizioni ambientali sono precisamente quelle di una ristretta fascia del bacino mediterraneo: Italia, con l'80% della produzione concentrata in Sardegna, Francia (Corsica), Spagna, Portogallo, Marocco e Algeria. In anni recenti si è tentato di impiantare la coltivazione del sughero anche in California, Sudafrica e Cina, ma con risultati mediocri dal punto di vista quantitativo e qualitativo.

7.1. IL CICLO DI PRODUZIONE

L'asportazione del sughero viene effettuata d'estate, quando la pianta è in piena attività e la corteccia si stacca più facilmente.

Se questo intervento è fatto per la prima volta, generalmente quando l'albero ha fra i 30 e i 50 anni, si chiama "demaschiatura". Le decorticazioni successive avvengono con intervalli di almeno dieci anni. Il sughero che viene estratto la prima volta è chiamato "sughero maschio" o "sugherone"; quello che viene estratto successivamente è chiamato invece "sughero gentile" o "sughero femmina" ed è generalmente, più pregiato di quello maschio.

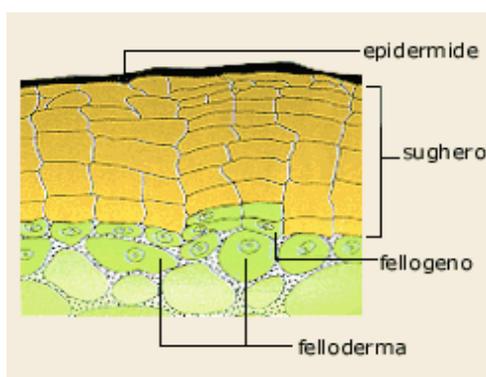
L'operazione di scorzatura è eseguita ancora a mano, da operai specializzati detti scorzini. L'operazione è molto delicata e la tecnologia non è ancora riuscita a inventare una macchina che sostituisca il lavoro degli "scorzini", che utilizzano tutt'oggi il sistema adottato da francesi e spagnoli nel 1800: con un'accetta speciale si incide la corteccia

all'altezza della prima biforcazione dei rami e la si apre fino al piede con un taglio longitudinale. In seguito la corteccia viene trasportata nei cortili dei sugherifici, dove resta alcuni mesi a stagionare. La fase successiva è quella della bollitura, che avviene a 120° e che serve a rendere sterile e più elastica la corteccia. Sottoposte all'azione della temperatura e alla successiva pressatura, le plance di sughero perdono il loro naturale aspetto curvo e risultano pronte per tutte le lavorazioni richieste. Nel caso dei prodotti per l'isolamento, l'ultimo passaggio vero e proprio consiste nella macinazione, che avviene in un mulino di frantumazione. Questa operazione permette di ottenere un granulato "biondo" dalle forti proprietà coibenti.

Seguono la selezione delle varie granulometrie e il confezionamento.

Il granulato può essere utilizzato sfuso (per esempio nell'isolamento delle intercapedini e dei sottofondi) oppure pressato in pannelli di diverso spessore.

7.2. COMPOSIZIONE



alcuno spazio intercellulare. Sono

inoltre del tutto sprovviste di perforature (canalicoli fra cellula e cellula) e sono suberificate. La suberificazione interessa soprattutto lo strato secondario di ispessimento della membrana: numerose lamelle di suberina, sottili e impermeabili all'acqua, vengono sovrapposte alle lamelle non suberificate della membrana.

La suberina, che appartiene alle sostanze organiche conosciute più resistenti, è un estere altamente polimerizzato di acidi e ossiacidi grassi saturi e insaturi, tra i primi ad esempio l'acido fellonico, l'acido suberinico e acidi simili ad elevato peso molecolare a struttura chimica non ben definita. Nei tessuti suberificati sono stati riscontrati: cere, grassi, sostanze tanniche; inoltre: proteine zuccheri e vanilina; non sono estranei poi la cellulosa e la glicerina. Spesso con la suberina sono presenti anche porzioni con membrana lignificata, ma gli studi recenti tendono a dimostrare che il legame fra suberina e membrana avviene tramite la cellulosa.

7.3. PROPRIETÀ

Le cellule del sughero sono, come detto, del tutto vuote o, per meglio dire, racchiudono nel loro interno una minima quantità di materiale bruno amorfo (residui del protoplasto) e una grande quantità d'aria o, secondo alcuni, di gas, che difficilmente viene scacciata a causa della citata impermeabilità delle pareti e della mancanza su di esse di qualsiasi perforazione. Fra le cellule sugherose non ha quindi luogo alcuno scambio di liquidi. Per i detti motivi, gli strati di sughero costituiscono delle barriere del tutto impenetrabili sia all'acqua che ai gas.

Da queste particolari proprietà fisiche delle membrane cellulari dipendono le principali caratteristiche del materiale sugheroso, vale a dire la grande leggerezza, l'assoluta impermeabilità ai liquidi ed ai gas, l'ottima coibenza.

Per il fatto poi che le membrane suberificate si conservano, nella generalità dei casi, sottili, i complessi di cellule suberificate godono di proprietà in certo modo opposte a quelle dei complessi di cellule ispessite, sono cioè dotati di morbidezza e di facile deformabilità.

Poiché la suberina appartiene alle sostanze organiche conosciute più resistenti, il sughero è assai resistente e di difficile attacco da parte degli enzimi secreti dai parassiti.

Il sughero è attraversato radialmente in tutto il suo spessore da lenticelle, che appaiono come canali pieni di polvere bruno scura formata da cellule morte, attraverso i quali può aver luogo sulla pianta lo scambio gassoso fra i tessuti interni del fusto e l'aria circostante, ma appunto perché normali all'asse della plancia, esse non hanno alcuna importanza ai fini della trasformazione della materia prima in turacciolo e del successivo impiego di questi nella chiusura dei contenitori.

Un'altra importantissima caratteristica del sughero che va attribuita, oltre che alla natura fisico-chimica, alla particolare struttura istologica (struttura cellulare) della materia prima, è quella di avere il " fattore rapporto " o " coefficiente di Poisson " uguale a zero. Il sughero cioè, se sottoposto a compressione, si accorcia senza che le sue dimensioni trasversali varino.

Il sughero, infine, è una sostanza perfettamente elastica, perché le deformazioni provocate dalle forze applicate su di esso spariscono al cessare delle forze stesse. Quest'ultima importantissima proprietà del sughero, quindi la forza di espansione di esso contro la parete interna rigida del contenitore, spiega la perfetta aderenza di tale sostanza alla parete interna, anche se non regolare del collo della bottiglia; aderenza aumentata notevolmente dall'azione di ventosa esercitata sulla parete stessa dalle cavità delle

cellule superficiali del sughero spezzate all'atto della trasformazione di questo in turacciolo e svuotatesi dell'aria durante la tappatura del recipiente.

Il sughero è resistente al fuoco, caratteristica questa, per un materiale da costruzione, di fondamentale importanza così come la resistenza alle alte temperature e il comportamento in caso d'incendio. A questo riguardo va detto che il sughero naturale ha una bassa velocità di combustione, pur non subendo alcun trattamento chimico che lo renda ignifugo.

7.4. USI

Fino a non molto tempo fa il sughero aveva trovato la sua maggiore applicazione nella fabbricazione dei turaccioli, ma attualmente esso viene largamente adoperato anche nell'isolamento termico e acustico e come materiale antivibratile e anticondensa.

Esso è inoltre impiegato, nella fabbricazione del linoleum, dei dischi per tappi-corona, delle mattonelle per pavimento e per rivestimento, delle guarnizioni per macchine e motori, delle solette e zeppe per calzature, dei frontali per cappelli, dei caschi coloniali, dei galleggianti, dei bocchini per sigari e sigarette, delle carte da visita e per calendari, dei granulati per imballaggio di frutta, di uova, di fiori freschi, ed in numerose altre applicazioni.

Recentemente il sughero ha trovato impiego, sottoforma di pani di agglomerati di polvere, nella preparazione di plastici per la progettazione di edifici o di insediamenti umani da parte di ingegneri ed architetti e, sottoforma di agglomerati bianchi ed espansi, nella fabbricazione di sandwich con pannelli truciolari di legno.

Per l'avvenire si prevede di poter utilizzare il sughero anche per l'estrazione di acidi grassi e di cere ad alto punto di fusione, molto richiesti dall'industria.

Il sughero è quindi una materia prima preziosa, per molti usi insostituibile, che non teme affatto i succedanei (sostanze plastiche, polistirene, poliuretano, resine fenoliche, foarmglas, lana di vetro, ecc.) perché questi, affacciatisi da qualche lustro, sul mercato internazionale, non sono dei concorrenti, ma dei semplici ausiliari chiamati a colmare l'enorme deficienza di sughero sul mercato mondiale, nonostante le loro inferiori prestazioni, offerte sia pure a un prezzo generalmente minore.

Il Sughero ha quindi un'importante avvenire.

7.5. SUGHERO BIOECOLOGICO

Come precedentemente discusso (3.2.1), il sughero, per la bioedilizia, è un ottimo materiale coibente termoacustico con caratteristiche di traspirabilità, l'impermeabilità,

l'inattaccabilità da insetti e roditori, solo se proviene da pura polpa di corteccia di sughero priva di ogni elemento estraneo, ventilata ed eventualmente aggregata in pannelli per effetto combinato di solo calore e compressione.

E' quindi di primaria importanza pretendere la certificazione e diffidare delle imitazioni: ogni tanto si trovano materiali distribuiti in confezioni anonime, quindi prive della certificazione di qualità che deve essere leggibile sull'imballo.

E' opportuno diffidare di tali prodotti, perché si rischia di avere a che fare con un materiale che viene spacciato per "ecologico", ma che in realtà non lo è. Un esempio: per quanto possa essere ecologica la sua origine, il sughero aggregato in pannelli classificato "naturale" non deve essere legato utilizzando colle sintetiche: l'uso di leganti chimici o artificiali comporta l'emissione di sostanze dannose per la salute, una su tutte la formaldeide, e compromette le proprietà del sughero.

I pannelli di sughero biocologici vengono prodotti partendo dai granuli di sughero ottenuti dopo un particolare trattamento di frantumazione e macinazione delle cortecce sugherose, liberati dalle scorie porose e legnose, posti in un forno a pressione e riscaldati ad una temperatura di circa 380 °C, senza alcun contatto con l'aria. Sotto tale temperatura e pressione, le resine naturali del sughero (fra cui la suberina) cominciano a liquefarsi, spostandosi verso la superficie del granello, iniziando così quel processo naturale di agglomeramento e saldatura di granulo con granulo perfezionato successivamente da un trattamento di onde ad alta frequenza, ed infine compressi fortemente da una pressa idraulica che determina la struttura dell'agglomerato e la dimensione di ogni singolo pannello.

Il tutto senza aggiunta di un qualsiasi additivo, o legante artificiale.

Il suddetto processo di lavorazione ha lo scopo primario di ottenere la stabilità dimensionale dei pannelli ed una buona resistenza a compressione.

7.5.1. EFFETTI DEI COLLANTI SULLA NATURA DEL PANNELLO

- **DURATA NEL TEMPO**

Il sughero ha dimostrato di poter resistere per millenni e forse non si può dire la stessa cosa per i collanti.

- **TOSSICITA'**

Buona parte dei mastici e delle resine sono del gruppo della formaldeide considerata oggi fortemente cancerogena. Altri "colloidi" di natura dolciastra (isocianati) sono capaci di suscitare richiamo ed interesse per formiche e scarafaggi.

- **RITIRO**

Ovvero la contrazione e la dilatazione di un conglomerato in presenza di calore ed umidità. E' risaputo che l'allungamento o l'accorciamento di un pannello è fortemente influenzato dalla presenza di collante artificiale plastico o bituminoso usato per agglomerare il sughero. Maggiore sarà la quantità di collante, maggiore sarà il ritiro. E' noto che il "movimento" di un solo centimetro può causare seri danni all'opera edile finale (guaine lacerate, tegole smosse, intonaci fessurati, ecc.).

7.5.2. I COLLANTI USATI E LA LORO PERICOLOSITÀ

I collanti utilizzati per l'agglomerazione dei grani di sughero:

- **COLLANTI TERMOINDURENTI**

Sono composti da resine formaldeidiche, melaniniche, fenoliche, resorciniche, catalizzatori, eccipienti e cariche minerali. Si applicano attraverso pressaggio, a caldo (100-185 °C) e si tratta di un incollaggio di tipo chimico, basato sulla polimerizzazione tra, lignina resine collanti (risultano sensibili all'umidità).

- **COLLANTI IN DISPERSIONE**

Sono composti da omopolimeri e copolimeri di acetato di vinile, acqua, alcolici polivinilici (colloidi protettori). Si applicano, attraverso pressaggio a freddo, e si tratta di un incollaggio, di tipo fisico. Questi collanti si sciolgono in acqua e sono termofondenti: per ovviare a questi inconvenienti si aggiungono derivati della formaldeide, melanina e urea e polisocianati (cancerogeni).

- **COLLANTI TERMOFONDENTI**

Sono composti da copolimeri solidi di etilevinilacetato, resine e cariche minerali. Si applicano con fusione a caldo del collante (200-300 °C) e si tratta di un incollaggio di tipo fisico (hanno il difetto di risultare anche visibili e antiestetici).

- **COLLANTI IN SOLVENTE**

Sono composti da policloroprene (neoprene), gomme SBR e SBS, poliuretani, toluolo, xilolo, idrocarburi aromatici e clorurati, cariche minerali. Si applicano con rullatura a . freddo e si tratta di un incollaggio, di tipo chimico, che avviene per cristallizzazione del policloroprene ed evaporazione, dei solventi (cancerogeni).

Secondo quanto è stato verificato in accurate ricerche, i collanti termoindurenti sono indubbiamente i più reattivi perché provocano forti rilasci di formaldeide, soprattutto quando agiscono in sinergia con la temperatura e l'umidità relativa degli ambienti. Ricerche svolte negli U.S.A. e in Gran Bretagna hanno permesso infatti di appurare che i tassi di formaldeide negli ambienti chiusi aumentano sensibilmente con l'accensione degli impianti di riscaldamento, per diminuire al loro spegnimento. Un effetto simile viene provocato anche dalla sola presenza di persone negli ambienti. Viene infatti provocato un aumento dell'umidità relativa che, insieme al calore favorisce il passaggio della formaldeide presente nelle resine polimeriche dallo stato solido allo stato gassoso. Ciò accade perché durante la polimerizzazione della resina in fase di incollaggio (pressa a caldo), non tutte le molecole di formaldeide si legano a formare la macromolecola della resina alcune rimangono imprigionate nel reticolo polimerico e col tempo trovano una via d'uscita verso l'esterno; altre presentano legami instabili che si rompono con l'aumento della temperatura e reagiscono con l'umidità dell'ambiente, liberandosi in esso. Dal momento che queste resine sono alquanto economiche, si può tranquillamente immaginare la loro pericolosa diffusione sul mercato e, di conseguenza, nelle abitazioni. Anche i collanti elastici (termofondenti o in dispersione acquosa) non sono comunque esenti da rischi, mentre particolarmente nocivi sono da considerarsi i collanti in solventi. E' evidente dunque che, nell'ambito dei problemi identificati nel quadro di quella "sindrome da edificio malato" di cui si sente parlare spesso, il ruolo assunto dai manufatti confezionati coi collanti è tutt'altro che secondario nella progettazione bioecologica del tetto e delle pareti, e quindi dovranno essere accuratamente messe in opera quelle soluzioni che consentano l'impiego di materiali sicuramente meglio affidabili dal punto di vista della mancanza di rischi rispetto alla loro nocività.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AA.VV. (1989), "Bioarchitettura un'ipotesi di bioedilizia" ed. Maggioli, Rimini
2. AA.VV. (1994), Housing 6. Flessibilità ecologica delle nuove "macchine per abitare", Etas Libri, Milano
3. AA.VV. (1995), Manuale di progettazione edilizia, Ed. Hoepli, Milano
4. AA.VV. (1996), "Architettura Bioecologica", Edicom, Monfalcone (GO)
5. AA.VV. (1996), Costruire edifici sani. Guida alla scelta dei prodotti, Maggioli Editore, Rimini
6. Adam J.P. (1984), "L'arte di costruire presso i Romani, materiali e tecniche", Ed. Longanesi & C., Milano
7. Alexandre Remi (1989), "Geobiologia", ed. Red, Como
8. Amedea Savini P. (1998), La casa biologica, Atlantide Edizioni, Pogliano Milanese
9. Benedetti C. (1994), Manuale di architettura bioclimatica, Maggioli Editore, Rimini
10. Bertagnin M. (1996), Bioedilizia Progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole, GB Editrice, Padova
11. Bremner T.W. (1998), "Una "Cosa" molto antica", Enco Journal, N° 9, pg 1-3,
12. Bruno S., (1999), Progettazione bioclimatica e bioedilizia, Il Sole24ore, Milano
13. Cabrini F. (a cura) (1996), Progetti ecologici di architettura. Esperienze nel mondo, Edicom Edizioni, Monfalcone
14. Campanella C. (1994), Capitolato speciale di appalto per opere di conservazione e restauro, Milano, Pirola
15. Cangelli E., Paolella A., (2000), Il Progetto ambientale degli edifici, Alinea Editrice, Firenze
16. Caterina G. (1989), Tecnologie del recupero edilizio, UTET, Torino
17. Caterina G., Pinto M.R. (1997), Gestire la qualità nel recupero edilizio e urbano, Maggioli Editore, Rimini
18. Cecchini C., (1998), Conservare fa bene all'ambiente, in Costruire n.167, supplemento
19. Cervellati P.L., (2000), L'arte di curare la città, Il Mulino, Bologna
20. Clemente, M.C, I requisiti della sostenibilità, in Costruire n.167, supplemento

21. Collepari M. (1987), "Scienza e tecnologia del calcestruzzo" Terza Edizione, Ed. Hoepli, Milano
22. Corrado M. (2000), "Architettura Bio-Ecologica", De Vecchi Editore, Milano
23. Davoli P. (1993), Architettura senza impianti, Alinea Editrice, Firenze.
24. De Capua A., (2000), Il controllo tecnologico della qualità dell'aria interna, in Quaderno di ricerca STOA n.3, Falzea ed., Reggio Calabria
25. Delera A. (1996), Le regole del progetto. I nuovi requisiti per abitare, Maggioli Editore, Rimini
26. Faconti D., Piardi S. (a cura) (1998), La qualità ambientale degli edifici, Maggioli Editore, Rimini
27. Francese D. (1996), Architettura bioclimatica, UTET, Torino
28. Galliani B. (1832), "Dell'Architettura, Libri Dieci di M.Vitruvio Pollione", Ed. A.Dozio, Milano
29. Gallo C., (2000), La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile, Il sole 24 ore ed.,Milano
30. Gangemi V. (a cura) (1994), L'ambiente risanato. La bioarchitettura per la qualità della vita, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli
31. Gangemi V. (a cura) (2001), Emergenza Ambiente-teorie e sperimentazioni della Progettazione Ambientale, Clean edizioni, Napoli
32. Giordano G. (1993), Tecnica delle costruzioni in legno, Milano, Hoepli
33. Giuffrè R. (1997), La cultura tecnologica nella progettazione ambientale, in Muzzillo F. (a cura), Tecnologie di recupero ambientale, Be-Ma Editrice, Milano
34. Gorla C. (1976), "Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati: dall'empirismo alla loro conoscenza razionale", in Cemento: Storia, Tecnologia, Applicazioni, Ed. Fratelli Fabbri Editori, Milano
35. Grosso M. (1997), Il raffrescamento passivo negli edifici, Maggioli Editore, Rimini
36. Koenig G. K., Furiozzi B., Brunetti F. (1989), Tecnologia delle costruzioni, Ed. Le Monnier, Firenze
37. La Rocca F. (1997), Tecniche della natura in architettura, Maggioli Editore, Rimini
38. Lotta G. (1991), Gli insetti e i danni del legno, Ed. Cardini, Firenze
39. Lironi S. (1996), Tecnologia dell'abitare, GB Editore, Padova
40. Lo Sasso M., (1991), La progettazione della realtà complessa, in Architettura tecnologia e complessità, Clean, Napoli

41. Marocco M., Orlandi F. (2000), *Qualità del confort ambientale. Elementi per la progettazione*, Editrice Librerie Dedalo, Roma
42. Mc Cam A.M. (1987), "The Roman Port and Fishery of Cosa – A center of Ancient Trade, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, pp 347
43. Lotz K. E. (1991), *La casa bioecologica*, AAM Editore, Firenze
44. Menicali U. (1992), *I materiali dell'edilizia storica*, Ed. Nis, Roma
45. Morabito G., Nesi A.,(2000), *Valutare l'affidabilità in edilizia*, Gangemi editore, Roma
46. Molinari C. (a cura), (1992), *Manutenzione in edilizia*, Franco Angeli Editore, Milano
47. Muzzillo F. (a cura di), (1997), *Tecnologie di recupero ambientale*, BE-MA Editrice, Milano.
48. Nicoletti M. (a cura) (1998), *Architettura ecosistemica*, Gangemi Editore, Roma
49. Novi F. (2000), *La riqualificazione sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze
50. Olgyay A. (1981), *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo in architettura*, Franco Muzzio & C. ed., Padova
51. Omodeo Salè S. (a cura) (1996), *Architettura, design e natura. Progettare la sostenibilità*, Edizioni Nuove IniziaCtive, Milano
52. Omodeo-Salè S. (1997), *Verde Aureo dell'Architettura*, Maggioli Editore, Rimini
53. Orlandi F. (1998), *Clima, Energia, progetto*, in Cangelli E., Clemente M.C. (a cura), *Tecnologia e ambiente*, supplemento a *Costruire* n.167
54. Orlandi F., (2001), *Strategie per la riqualificazione bioclimatica ed ambientale in* (a cura) Sala M. *Recupero edilizio e bioclimatica*, Simone Edizione, Napoli
55. Paolella A. (2000), *Abitare nei parchi*, Suppl. "Attenzione", Edicom Edizioni, Roma
56. Paolella A., (2001), *L'edificio ecologico: obiettivi, riconoscibilità, caratteri, tecnologie*, Gangemi Editore, Roma
57. Parancola S., Park S., Pelizza M. (1998), "Feng Shui - architettura, ambiente e acqua", Macro Edizioni, Cesena
58. Pedrotti W. (2000), "Il grande libro della Bioedilizia", Demetra Ed., Verona
59. Peitz S. (a cura) (1993), *Bioarchitettura. Un'ipotesi di bioedilizia*, Maggioli Editore, Rimini
60. Peretti G. (a cura) (1997), *Verso l'ecotecnologia in Architettura*, Be-Ma Editrice, Milano

61. Raiteri R. (a cura) (1996), Progettare la residenza. Tendenze innovative, Maggioli Editore, Rimini
62. Rigamonti E. (1996), Il riciclo dei materiali in edilizia, Maggioli Editore, Rimini
63. Rinaldi S. (1992), Le forme del degrado; note per una lettura morfologica delle superfici in architettura, Napoli , ESI
64. Rubini F. (1994), Architettura bioclimatica, Livrotto & Bella, Torino
65. Sala M. (a cura) (2001), Recupero edilizio e bioclimatica, Alinea Editrice, Firenze
66. Sala M. (a cura) (1994), Tecnologie bioclimatiche in Europa, Alinea Editrice, Firenze
67. Sala M., Ceccherini Nelli M. (1993), Tecnologie solari, SE Editrice, Napoli
68. Scapino M. (1997), La casa ecologica, Editoriale Olimpia, Firenze
69. Spada M.(1992), "L'uomo l'ambiente la casa", Ed. Guerini Studio, Padova
70. Tampone G. (1990), Il restauro del legno - voll. II, Editore Nardini, Fiesole (FI)
71. Tampone G. (1993), Tecnologia del restauro delle strutture in legno, in Restauro dell'architettura e formazione professionale, (Atti del Convegno, Firenze, 13-14 Maggio 1993), Firenze, Giunti
72. Todd N.J., Todd J. (1989), Progettare secondo natura, Eleuthera Editrice, Milano
73. Tondi A., Delli S. (a cura) (1998), La casa riciclabile. I rifiuti in edilizia, Edicom Edizioni – ANAB, Monfalcone
74. Trombetta C. (2000), Le esperienze, il clima e le regole, Falzea Editrice, Reggio Calabria