POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto
Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale
A.A. 2017-2018

Progettare con il legno. La percezione della qualità abitativa del manufatto edilizio attraverso l'innovazione tecnologica e l'applicazione su un caso pratico.

"Design with wood. The perception of the housing quality of the building product through technological innovation and application on a practical case".

Relatore
Prof. Jean Marc Tulliani
firma del relatore
.....

Correlatore
Ing. Giuseppe Gianolio
firma del correlatore
.....

Candidato
Ermes Tammaro
firma del candidato
.....

“L’Architettura è la volontà dell’epoca tradotta nello spazio”.

Ludwig Mies Van der Rohe

ABSTRACT:

L'obbiettivo principale della presente ricerca, vuol esser caratterizzato da un fil rouge che collega gli ambiti e le tematiche di maggior rilievo inerenti il mondo della progettazione architettonica. Partendo dal concetto di Sostenibilità, attorno al quale si è basato l'intero corso di studi universitario, il passaggio successivo sarebbe operare, dal generale al particolare, andando a definire man mano l'interesse scaturito nei confronti dei materiali, argomento da trattare con particolare attenzione specie se legato al mondo del legno e dei trattamenti ad esso relativi. Il concetto di architettura sostenibile, viene proposto in correlazione agli aspetti legati alla qualità interna, al benessere ed alla vivibilità degli spazi. Lo sviluppo del percorso di ricerca pone dunque l'accento su una possibile soluzione, volta a mediare fra le problematiche sopra espresse, dall'introduzione ad esempio di un particolare trattamento, sino a giungere ad un'accurata selezione di possibili accorgimenti progettuali, contestualizzati all'interno di un progetto realizzato, con l'obbiettivo di semplificarne la comprensione, spesso non immediata limitandosi soltanto sugli aspetti teorici e disciplinari.

INDICE:

Capitolo 1 - La sostenibilità, una voce dalle mille sfaccettature.

- 1.1 Che cos'è?
- 1.2 Quando e dove nasce?
- 1.3 In che ambiti possiamo ritrovarla? (Focus sui materiali, collegamento1)

Capitolo 2 - Il legno, un materiale sostenibile, se…?

- 2.1 Che cos'è? Cenni storici, proprietà ed essenze disponibili, Caratteristiche a confronto con altri materiali, normativa vigente e relazione con il metodo di calcolo LCA

2.1.1 Cenni storici

2.1.2 Proprietà

2.1.3 Essenze disponibili

2.1.4 Caratteristiche a confronto con altri materiali

2.1.5 Normativa vigente e relazione con il metodo di calcolo LCA

- 2.2 Tipologie e Peculiarità delle strutture in legno

2.2.1 Tipologie

2.2.2 Peculiarità delle strutture in legno

- 2.3 Sostenibilità e problematiche (Focus sulle difficoltà generate dai trattamenti, collegamento 2)

2.3.1 Sostenibilità

2.3.2 Problematiche

Capitolo 3 – La durabilità legata ai trattamenti del legno come minaccia del benessere abitativo?

- 3.1 Accorgimenti progettuali da adottare nel caso dell'utilizzo del legno come materiale da costruzione, dall'ottica di futuri reimpieghi, sino ai particolari costruttivi

- 3.2 L'indoor Air Quality come parte integrante del benessere e del comfort abitativo interno

- 3.3 La ricerca dell'equilibrio progettuale intesa come il rapporto fra sostenibilità, durabilità e qualità applicate al mondo del legno

- 3.4 La preservazione del legno mediante la ricerca selettiva dei Trattamenti da applicare, al fine di garantire l'equilibrio progettuale necessario per un corretto utilizzo del materiale (Focus della Tesi, una soluzione di qualità a quanto detto, collegamento 3)

3.4.1 La normativa relativa ai trattamenti da impiegare nel caso di progettazione con il legno

3.4.2 La durabilità e le misure di protezione del legno in rapporto ai trattamenti a cui esso è sottoposto

3.4.3 Trattamenti specifici per applicazioni in legno di qualità

Capitolo 4 - Sostenibilità e Qualità abitativa, un mix impossibile?

- 4.1 Il legno come parte integrante di un progetto sostenibile, attento al benessere dell'uomo ed alla salubrità dell'aria interna ma al tempo stesso capace di trasmettere una sensazione di qualità

- 4.2 La risposta alla presente ricerca mediante due esempi di applicazioni pratiche, sviluppate attraverso la presentazione di un caso studio in fase di realizzazione cantieristica e di un progetto di un'unità residenziale unifamiliare

4.2.1 Presentazione del cantiere di un Bed and Breakfast a conduzione familiare: dall'area di progetto alle caratteristiche strutturali, dalle specifiche costruttive al monitoraggio delle principali fasi di realizzazione

4.2.2 Progettazione di una villetta residenziale unifamiliare: la percezione della qualità del manufatto attraverso le principali tappe progettuali, dalle personalizzazioni "Tailor Made" per il Committente agli ambiziosi requisiti prestazionali raggiungibili

4.2.2.1 Inquadramento territoriale ed analisi del contesto d'intervento

4.2.2.2 Presentazione della Committenza e definizione delle relative esigenze, mediante intervista diretta

4.2.2.3 Dall'Idea al Concept di progetto: la prefabbricazione intesa come incipit iniziale per i dati preliminari di progetto, volta alla definizione del rapporto Progettista-Committente, non privo di proposte e soluzioni alternative createsi lungo il percorso, con il fine di individuare quelle che meglio rappresentano le esigenze di entrambe le parti

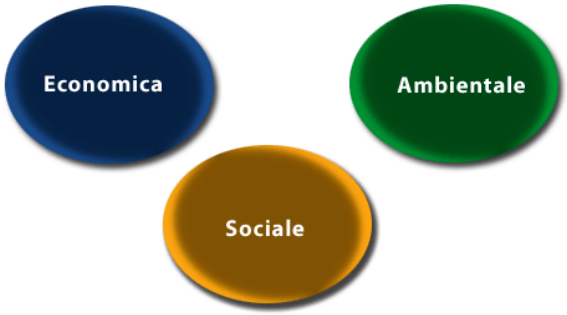
4.2.2.4 Descrizione del progetto

Capitolo 1 - La sostenibilità, una voce dalle mille sfaccettature.

- 1.1 Che cos'è?
- 1.2 Quando e dove nasce?
- 1.3 In che ambiti possiamo ritrovarla? (Focus sui materiali, collegamento1)

1.1 Che cos'è?

Il concetto di Sostenibilità, spesso può esser calato in ambiti e discipline molto vari fra loro, dagli aspetti ambientali sino a quelli sociali e psico-sensoriali. La necessità di cercare una equità di tipo intergenerazionale, si basa sul principio secondo il quale le generazioni future hanno gli stessi diritti di quelle attuali. L'intento di collocarsi verso tale direzione, prevalentemente di matrice ecologica, ha recentemente animato il dibattito internazionale, determinando numerosi approfondimenti e ulteriori sviluppi del concetto di sostenibilità, che nel tempo si è esteso a tutte le dimensioni che concorrono allo sviluppo. In tale ottica, la sostenibilità è dunque, da intendersi non come uno stato o una visione immutabile, ma piuttosto come un processo continuo, basato essenzialmente da tre ambiti e dimensioni fondamentali: Ambientale, Economica e Sociale.

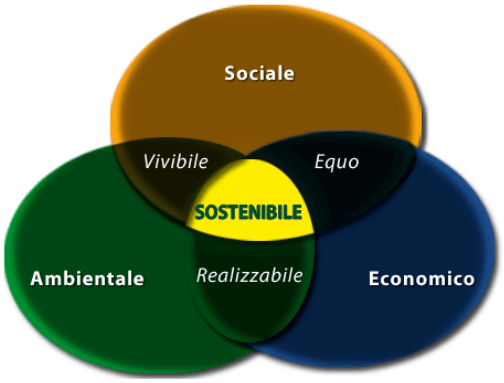


- Figura 1: *Le dimensioni della sostenibilità dello sviluppo – fonte: http://www.sogesid.it/sviluppososteniibile.html*

Per sostenibilità ambientale si intende la capacità di preservare nel tempo le principali funzioni dell'ambiente, quella di fornitore di risorse, unita alla funzione di ricettore di rifiuti per poi giungere alla funzione di fonte diretta di utilità. All'interno di un sistema territoriale fondamentale risulta essere la capacità di valorizzare l'ambiente in quanto "elemento distintivo" del territorio, garantendo al contempo la tutela e il rinnovo delle risorse naturali e del patrimonio. La sostenibilità economica può essere invece definita come la capacità di un sistema economico di generare una crescita duratura degli indicatori economici.

In particolare, la capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento delle popolazioni. Questo tipo di benessere può esser ricercato all'interno di un contesto

capace di produrre e mantenere il massimo del valore aggiunto combinando efficacemente le risorse, al fine di valorizzare la specificità dei prodotti e dei servizi territoriali. Infine, ma non meno importante, si assume il termine relativo alla sostenibilità sociale inteso come la capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione) equamente distribuite per classi e per genere. A questo proposito, si consideri decisiva, la capacità dei soggetti di intervenire insieme. Riassumendo, per poter disporre di un quadro ampio e completo, volto alla definizione del concetto di sostenibilità, si deve porre una distinzione di ciò che è etico da ciò che invece costituisce la politica, andando ad implicare dinamiche economiche e sociali compatibili con il miglioramento delle condizioni di vita e la capacità delle risorse naturali di riprodursi in maniera indefinita. Appare indispensabile, pertanto, garantire uno sviluppo economico compatibile con l'equità sociale e gli ecosistemi, operante quindi in regime di equilibrio ambientale, nel rispetto della cosiddetta regola dell'equilibrio delle tre "E": Ecologia, Equità, Economia.



-Figura 2: *Le interconnessioni tra le dimensioni della sostenibilità dello sviluppo e la regola dell'equilibrio delle tre "E" - fonte: http://www.sogesid.it/svilupposostenibile.html*

Tuttavia, appare fondamentale evidenziare come tali dimensioni siano strettamente correlate fra loro da una molteplicità di connessioni e, pertanto, non devono essere considerate come elementi indipendenti, ma devono essere analizzate in una visione unitaria, quali elementi che insieme contribuiscono al raggiungimento di un fine comune. Ciò significa che ogni intervento deve tenere conto delle reciproche interrelazioni, evidenziando come l'economia esiste all'interno di una società ed entrambe esistono nell'ambiente, dal quale tutto dipende.

*- **Figura 3:** Il modello dei cerchi concentrici - fonte: http://www.sogesid.it/sviluppposostenibile.html*

Andando a restringere il campo d'azione, dal significato generale sino alle accezioni legate alla specificità del campo edile, si fa riferimento all'architettura sostenibile legata alle tematiche ambientali, oggigiorno entrate a pieno diritto nell'agenda delle imprese, delle comunità locali ed internazionali. Il termine "sostenibilità" e l'etichetta "architettura sostenibile" infatti, sono spesso concetti ampi, oggetto di interpretazioni non sempre corrette, spesso generaliste, volte maggiormente al soddisfacimento di una moda, più che alla definizione vera e propria del termine. L'ambito oggetto di analisi prevede come principale obbiettivo quello di andare a restringere l'ampio range di ciò che viene definito sostenibile, ponendo l'accento su quello che è il mondo dell'architettura e del manufatto edilizio. L'architettura sostenibile progetta e costruisce edifici per limitare l'impatto ambientale, ponendosi come finalità progettuali l'efficienza energetica, il miglioramento della salute, del comfort e della qualità della fruizione degli abitanti, raggiungibili mediante l'integrazione nell'edificio di strutture e tecnologie appropriate. Fondamentale risulta a tal proposito, considerarne gli aspetti sin dalle prime fasi progettuali, andando a definire le esigenze della committenza, gli aspetti economici, gli obbiettivi, al fine di prevederne le criticità, le eventuali integrazioni tecnologiche ed impiantistiche successive. In architettura non si parla solo di risparmio energetico o di riduzione dei consumi, ma anche di ciò che definisce i comportamenti degli abitanti, riconducendosi a quanto detto precedentemente.

Attualmente vi sono sempre più progetti legati a questa tematica, tuttavia rimangono ad oggi una piccolissima percentuale sul totale del costruito, molti dei

quali si limitano a concorrere ad un “immagine” sostenibile, rischiando di porre in secondo piano il vero significato del termine. Come spesso accade, l’adozione di pannelli solari, unita all’utilizzo di materiali rinnovabili, portano erroneamente ad associare un edificio al termine “green”, tralasciando una serie di fattori fondamentali. Per poter garantire una progettazione corretta, ed evitare errori anche gravosi, in fase di realizzazione, fondamentale risulta infatti prevedere e definire con precisione gli obbiettivi, i particolari costruttivi, l’adozione di tutti quegli accorgimenti, che rendono l’esecuzione a regola d’arte, con il principale obbiettivo di andare a realizzare un edificio veramente “green”, che rispetti l’ambiente e non comprometta le generazioni future. In ambito italiano, ma soprattutto nei paesi freddi, considerati fra i capostipiti di una progettazione consapevole, sono diversi gli esempi che potrebbero essere analizzati, seppur per aspetti diversi fra loro, ma con un unico obbiettivo, quello di andare a collocarsi all’interno di una filosofia prettamente attenta all’ambiente, ed agli effetti su di esso.

I progetti di Earthships Biotecture ad esempio, rappresentano un vero e proprio emblema di architettura sostenibile, senza rinunciare alla ricercatezza della forma. Michael Reynolds, padre di queste realizzazioni, ideò per primo una particolare tipologia di architettura, che ruota attorno ad un concetto portante: quello legato all' ecosostenibilità. Michael inizia il proprio percorso nel 1969, subito dopo essersi laureato in Architettura presso l'Università di Cincinnati, discutendo una tesi sulle costruzioni effettuate con materiali anticonvenzionali. Il risultato portò egli stesso alla realizzazione di case solari passive, con sistemi di riscaldamento e raffrescamento a energia zero, totalmente indipendenti dagli allacciamenti municipali. Essendo realizzate con i materiali più svariati come terra, argilla, paglia, ed avendo una bassissima impronta ambientale, queste realizzazioni vanno a collocarsi in un elevato contesto tecnologico e costruttivo.

- Figura 4: *Esempio di realizzazione a cura dell'Architetto Michael Reynolds - fonte: http:// biotecture-earthships-le-case-ecosostenibili-di-michael-reynolds-larchitetto-dei-rifiuti*

L'architettura sostenibile è dunque da intendersi più come un approccio culturale, dettato da una serie di fattori, diversi e spesso in contrapposizione fra loro, e solo se considerati in un contesto inclusivo ed unitario, si può andare a definirne il significato stesso. Questa sfida, spinge il progettista ad una serie di attenzioni necessarie e richieste al fine di poter ridurre al minimo l'impatto delle costruzioni sulla salute dell'uomo e sull'ambiente. Se al giorno d'oggi professionalmente si sta iniziando ad andare in questa direzione, d'altro canto quel che deve ancora realmente affermarsi è il processo di assorbimento culturale da parte dell'uomo, fenomeno che richiede tempo e convinzione per meglio comprendere i nuovi

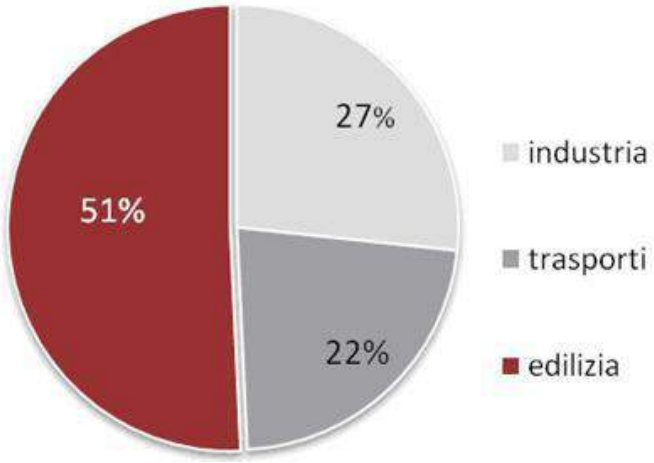
approcci, con il fine ultimo di optare per un'architettura senza effetti collaterali negativi per la vita degli esseri viventi e del pianeta.

Da una recente Intervista all'Architetto Luca Dolmetta di LDA Studio, risulta che alla sollecitazione di andare a definire il significato del termine "sostenibile", è emerso che per assicurare una buona qualità della vita alle generazioni future, l'applicazione del concetto di sviluppo sostenibile rispetto alle risorse del pianeta è diventata imprescindibile. L'ambito comporta sempre più spesso un'integrazione delle diverse competenze specialistiche che partecipano al processo di progettazione e costruzione degli edifici. Fondamentale in quest'ambito, è il tema della progettazione dal punto di vista energetico cui fa seguito evidentemente un grande lavoro ingegneristico e tecnologico per migliorare la prestazione di una costruzione.

Tecnica e Materia vanno a fondersi con l'obbiettivo di perseguire ed implementare le prestazioni energetiche di un edificio, tuttavia da sole, non bastano. Se un edificio disegnato bene, orientato opportunamente e con la giusta forma potrebbe avere già buone performance, l'intervento tecnologico e il ricorso ad appositi materiali, collocherebbe lo stesso in una dimensione prestazionale più ampia e completa. La tendenza di associare questo nuovo approccio, al termine "moda", presenta diverse contraddizioni ed illogicità; parlare di tradizione rinnovata invece, legandola ad un contesto locale specifico, può portare a pensare al fatto che non esista vera innovazione se non partendo dalla conoscenza della tradizione, soprattutto quando si persegue un progetto "sostenibile" anche dal punto di vista del suo rapporto con il paesaggio locale.

Negli ultimi decenni, a causa dell'uomo, l'effetto serra è aumentato provocando mutamenti climatici, legati soprattutto all'aumento della temperatura, andando a causare enormi e gravi danni agli ecosistemi, non riuscendo più ad adattarsi così rapidamente ai cambiamenti. In base all'ultima relazione del IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (Comitato Intergovernativo del Cambiamento climatico) il ventesimo secolo è stato registrato come il più caldo, mentre molti gas presenti in natura, sono generati durante la produzione di schiume e i processi di refrigerazione dell'aria.

Al settore edilizio, in particolare, è imputabile una consistente quota d'impatto ambientale. Gli edifici infatti per natura, determinano un consumo di materia prima, energia, ed emissione d'inquinamento in fase di costruzione, produzione dei componenti e soprattutto nella fase d'uso, dalla produzione di rifiuti da demolizione al fine vita.



*- **Figura 5:** Incidenza ambientale delle principali componenti d'inquinamento presenti - fonte: http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/linee-guida-per-la-progettazione-con-i-protocolli-di-sostenibilita-leed-e-itaca.html*

Per ridurre gli impatti dovuti a questo compartimento, bisogna analizzare il processo realizzativo di un edificio lungo l'intero ciclo di vita, secondo il metodo di analisi del ciclo di vita denominato Life Cycle Assessment. Esso è utilizzato per quantificare e valutare l'impatto ambientale provocato da un manufatto/edificio durante tutte le fasi, dall'estrazione delle materie prime, al trasporto allo stabilimento, alla produzione ed al trasporto al cantiere, dalla messa in opera all'uso e demolizione per poi giungere al fine vita.

- Figura 6: *Fasi del ciclo di vita edilizio - fonte: http://www.maiano.it/settore-edilizia/sostenibilità*

1.2 Quando e dove nasce?

In tutte le epoche, l'uomo ha cercato di migliorare le prestazioni delle proprie abitazioni, sia nel senso della confortevolezza che dell'igiene. Per ottenere questi risultati, ha innanzitutto cercato di sfruttare al meglio quello che la natura gli aveva reso immediatamente disponibile: dei siti adatti all'edificazione, dei ripari naturali, la protezione del suolo, la luce e il calore del sole, nonché dei materiali da costruzione legno, pietre, terra, argilla. Con il tempo, il progetto architettonico perse il carattere artigianale, per assumere sempre più un carattere tecnologico ed industrializzato. Con l'accrescere delle conoscenze e delle capacità tecnologiche, l'uomo sfruttò in modo sempre più complesso le possibilità offerte dalla natura, creando artefatti che potessero migliorare la qualità delle sue abitazioni. Vennero così modificati i siti, realizzati i mattoni, i vetri, i sistemi fognari, gli isolamenti. Fino al XIX sec. tuttavia, l'attenzione verso la sostenibilità di un progetto architettonico era ancora basilare, soprattutto per i limiti derivanti dall'esiguità delle risorse energetiche disponibili e per la scarsa conoscenza e sensibilità nei confronti relativi al concetto di progettazione sostenibile. L'architettura raccolse così i frutti del progresso, perdendo progressivamente di vista il problema del rapporto con l'ambiente, concentrandosi verso le massime possibilità realizzative che le tecnologie permettevano. A partire dagli anni Settanta, si è iniziato a sentire l'esigenza di verificare se questa condizione non nascondesse dei problemi, che attraverso lo sviluppo delle idee ecologiste, la nascita di preoccupazioni sanitarie dovute all'inquinamento e l'evidenza del problema del rifornimento energetico legato alla disponibilità dei combustibili fossili, si iniziò un percorso caratterizzato da maggior consapevolezza, e ricerca di soluzioni alternative. Sin da subito si iniziò a pensare al concetto relativo agli agenti inquinanti nell'ambiente costruito, e la relazione che essi potessero avere con gli aspetti igienico-sanitari. Il costo dei carburanti fossili in crescita, portò conseguenzialmente ad un forte interesse per gli aspetti legati al risparmio energetico.

Oggi, l'architettura sostenibile, si sforza di avere una visione sistemica, la più ampia possibile, che tratti il problema del costruito nel suo insieme di rapporto "funzione-uomo-natura", considerando gli edifici, non solo come ripari, ma come sostentamento della vita, supportato anche da una tendenza di ritorno alle origini,

considerando maggiormente ciò che ci circonda, e la stretta relazione che un manufatto edilizio può avere nei confronti dell'ambiente e dell'uomo stesso. In tal senso, dunque, è possibile costruire una vera e propria piramide della sostenibilità, ponendo alla base proprio la dimensione ambientale che attraverso la fornitura di risorse naturali, di servizi all'ecosistema e di benessere alla società svolge un ruolo fondamentale di supporto sia alla dimensione economica che a quella sociale.

- Figura 7: *Piramide della Sostenibilità - fonte: http://www.sogesid.it/sviluppo_sostenibile.html*

L'analisi storica è per natura, collegata agli aspetti sociologici, ed essendo lo studio dello sviluppo sostenibile transdisciplinare, si può correre il rischio di perdere di vista la sua specificità. Tuttavia per analizzare quali relazioni sussistono tra le diverse componenti disciplinari occorre per prima cosa definire il quadro di riferimento, individuando delle solide basi su cui fondare una serie di ipotesi. Nello specifico, per entrare in merito agli aspetti cronologici, legati allo sviluppo del concetto di sostenibilità, è necessario considerare il periodo storico legato all'età contemporanea, dove l'uomo è passato dal difendersi dalla natura a difendere la natura. Alla fine della Seconda Guerra Mondiale infatti, dopo aver oltrepassato il limite dell'autodistruzione con l'uso dell'atomo a fini bellici, l'Europa riscopre una nuova fase di crescita economica, caratterizzata dall'incremento demografico, da rapide innovazioni scientifiche e tecnologiche e da grandi riforme strutturali, alle quali seguirono tra la fine degli anni Sessanta e gli inizi dei Settanta, una serie di

eventi che mettono in relazione l'ambiente, la crescita economica e lo sviluppo. Per meglio comprendere l'entità di queste trasformazioni, risulta fondamentale ricondursi ad uno schema temporale, delineandone le tappe che segnarono la storia e l'essenza stessa di ciò che viene assegnato come "sviluppo sostenibile".

- ***1972 CONFERENZA DI STOCCOLMA***

Per la prima volta su scala internazionale si iniziarono a definire alcuni principi che saranno alla base del concetto di sviluppo sostenibile: "Le risorse naturali della Terra, devono essere salvaguardate a beneficio delle generazioni presenti e future attraverso una programmazione e una gestione appropriata e attenta". L'ambiente inizia da questo preciso momento ad essere considerato parte integrante per quanto concerne tematiche relative allo sviluppo, ponendo le basi per un solido e dettagliato programma cronologico.

- ***1980 WORLD CONSERVATION STRATEGY***

La comparsa per la prima volta del termine "sviluppo sostenibile", portò alla formazione e sviluppo di alcuni enti ed associazioni, volte alla tutela ed alla valorizzazione del patrimonio ambientale, che ebbe come esito la comparsa e la persistenza di importanti organizzazioni, tutt'oggi attive ed al centro dell'attenzione mondiale, quali *l'International Union for the Conservation of Nature* (IUCN), *l'United Nations Environment Programme* (UNEP) ed *il World Wildlife Fund* (WWF).

- ***1987 RAPPORTO BRUNDTLAND***

Il concetto di sviluppo sostenibile assume una dimensione più ampia: "uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni". La precedente dichiarazione portò alla consapevolezza relativa alla protezione ambientale, non più considerata un vincolo allo sviluppo, bensì una condizione necessaria, soprattutto ragionando verso future disposizioni.

- ***1989 RISOLUZIONE DELL'ONU***

L’anno 1989 è segnato dalla convocazione della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED), dalla quale nacque il concetto relativo ad uno sviluppo, diffuso in tutti i paesi, e non meramente legato ad una localizzazione teorica e temporanea.

- ***1992 CONFERENZA DI RIO DE JANEIRO e AGENDA 21***

Durante questa conferenza, sviluppatasi e conosciuta a livello mondiale, si gettarono le basi per l’avvio dei programmi di risanamento ambientale del pianeta, vennero enunciati i principi su cui impostare le politiche nazionali ed internazionali, ponendo in evidenza i problemi globali, con l’obbiettivo di coinvolgere le responsabilità e le azioni di tutti gli stati. In questa occasione si iniza a pensare al concetto relativo all’utilizzo ocultato delle risorse naturali, diminuendo il consumo di quelle non rinnovabili e limitando la produzione dei rifiuti. La Conferenza portò al sancimento dei 27 Principi sull’ambiente e sviluppo oltre a quelli relativi alle foreste, lanciando contestualmente la Convenzione sulla Diversità biologica, quella sui Cambiamenti Climatici e quella relativa alla Desertificazione, adottata in seguito nel 1994. In particolare si introduce il cosiddetto Agenda XXI, il Piano di Azione a tutti i livelli per uno sviluppo sostenibile, da realizzare su scala globale, nazionale e locale da parte delle Nazioni Unite, dei Governi Nazionali e di quelli Locali in ogni area in cui l'attività umana danneggia l'ecosistema. Si tratta essenzialmente di un documento di intenti ed obiettivi programmatici, con l’obbiettivo di andare a costituire il riferimento per le politiche di sviluppo sostenibile del pianeta, legando tematiche ambientali, economiche e sociali. Il programma fu inoltre sottoscritto da oltre 170 paesi di tutto il Mondo (tra cui l'Italia), i quali si impegnarono di conseguenza a contribuire quotidianamente ed in modo concreto, a quanto ordinato dalle diposizioni proposte.

- ***1992 TRATTATO DI MAASTRICHT***

Con questo trattato, le tematiche relative al concetto di sviluppo in ottica ambientale, divennero obbiettivo politico di primo piano, con conseguenziale integrazione della protezione ambientale nelle altre politiche.

- ***1993 PIANO NAZIONALE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE***

In Italia viene emanato il "Piano nazionale per lo sviluppo sostenibile, in attuazione dell'Agenda XXI; tale attuazione costituisce per la nazione, il primo vero e proprio provvedimento in ottica sostenibile.

- ***1994 CARTA DI AALBORG***

È il primo passo dell'attuazione dell'Agenda XXI locale, firmata da oltre 300 autorità locali durante la "Conferenza europea sulle città sostenibili". Vengono definiti i principi base per uno sviluppo sostenibile delle città e gli indirizzi per i piani d'azione locali.

- ***1997 PROTOCOLLO DI KYOTO***

Il 1997 è l'anno in cui venne presentato il Protocollo internazionale sulla riduzione delle emissioni di gas serra nel mondo, dalla sede del dibattito ne derivò l'omonima denominazione Protocollo di Kyoto, entrato in vigore all'inizio del 2005, in seguito all'adesione della Russia. Grandi assenti risultarono invece gli USA, con a capo il presidente Bill Clinton, i responsabili del ben 36,2% del totale delle emissioni di biossido di carbonio (annuncio del marzo 2001).

- ***2000 APPELLO DI HANNOVER***

All'inizio del nuovo secolo si propone una definizione dei principi fondamentali legati fondamentalmente alla tutela ed allo sviluppo ambientale, dalla quale, secondo la Conferenza Paneuropea sono emersi i seguenti principi:

- garantire il benessere delle generazioni presenti e future

- valorizzare le differenze riconoscendo le stesse come portatrici di ricchezza sociale

- favorire un'economia socialmente giusta ed ecologicamente efficiente

- condividere la responsabilità per lo sviluppo sostenibile

- diffondere consapevolezza che un mondo pacifico sia il prerequisito per una società sostenibile

- ***2001 IL VI PROGRAMMA D'AZIONE***

Con il VI° Programma d'azione dell'Unione Europea si pongono le basi a favore dell'ambiente. Nel 2010 si penserà ad un futuro incentrato attorno a quattro aspetti fondamentali: il cambiamento climatico, l'ambiente e la salute, la natura e la biodiversità, la gestione delle risorse naturali; inoltre, si sottolinea l'importanza di nuove forme di partecipazione di cittadini ed imprese.

- ***2015 SUMMIT PER L'ADOZIONE DELL'AGENDA 2030***

Gli ultimi decenni, a partire dal 2001, furono costituiti essenzialmente da aggiornamenti, realizzati sulla base degli accordi precedentemente ipotizzati. Nello specifico si fa riferimento al nuovo quadro strategico delle Nazioni Unite: l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. L'obbiettivo attuale, prevede l'ambizione di "trasformare il nostro mondo". Il documento determina gli impegni sullo sviluppo sostenibile che dovranno essere realizzati entro il 2030, individuando in particolare 17 obbiettivi globali. Il processo preparatorio complesso, durato quasi tre anni, ebbe inizio in occasione della Conferenza mondiale sullo sviluppo sostenibile "Rio+20" e andò ad inserirsi sin da subito al centro del dibattito internazionale. Il carattere universale della proposta, va a porre l'attenzione tanto ai Paesi in via di Sviluppo quanto ai Paesi avanzati, suddividendo l'intera struttura dell'Agenda in quattro parti (Dichiarazione, Obiettivi e target, Strumenti attuativi, Monitoraggio dell'attuazione e revisione) e tocca diversi ambiti, tra loro interconnessi, fondamentali per assicurare il benessere umano e planetario. All'interno del programma è riconosciuto universalmente lo stretto legame tra il benessere umano, la salute dei sistemi naturali e la presenza di sfide comuni che tutti i Paesi sono chiamati ad affrontare. Con il Summit di Settembre 2015, la comunità internazionale ha compiuto un grande passo in avanti nell'inquadrare le politiche di sviluppo in un'ottica di sostenibilità, andando a prevedere programmi di attuazione futuri, con l'obbiettivo di percorrere sempre meglio e maggiormente la strada per uno sviluppo mondiale consapevole, duraturo e ben radicato all'interno del sistema.

1.3 In che ambiti possiamo ritrovarla? (Focus sui materiali, collegamento1)

Il tema relativo ai materiali da costruzione da adottare, al fine di contrastare le più recenti problematiche ambientali, sembra esser sempre più attuale e sentito, mentre, l'abbinare tecniche, strategie, misure ed accorgimenti costruttivi ad una corretta scelta dei materiali da adottare, rappresenta l'unica strada per poter giungere a dei risultati plausibili, e facilmente monitorabili, con il fine di poter sempre avere un ampio margine di miglioramento. Un corretto approccio disciplinare potrebbe dar inizio al tentativo di realizzare edifici scomponibili, con materiali facilmente riutilizzabili e smaltibili senza problemi, considerando in particolar modo il problema relativo alla separazione di materiali incollati o trattati, tematica che sarà approfondita in seguito. "Occorre prendere in considerazione l'aspetto del riuso e del riciclaggio dei materiali già al momento della progettazione di un edificio ex novo e, nel caso di demolizioni, elaborare un concetto di recupero che garantisca e faciliti il riuso e il riciclaggio di vari elementi". Il concetto relativo ai materiali e i prodotti riciclati esiste da sempre, anche se a causa della loro natura, il termine "riciclo" è sempre stato sinora abbinato al concetto di un qualcosa che "va buttato via". L'immagine collettiva di un oggetto già vecchio prima di essere utilizzato, sicuramente non in grado di competere per aspetto e prestazioni con i "nuovi prodotti", ha portato alla tendenza che porta oggi a dover risolvere con una determinata urgenza temi quali reimpiego, riutilizzo, riciclaggio, disassemblabilità. Interrompere questa silenziosa ma pericolosa tendenza, rappresenta la sfida innovativa del prossimo millennio. Il problema legato all'industrializzazione ed alla meccanizzazione porta ad avere volumi notevoli in termini di produzione con un conseguenziale aumento delle quantità di rifiuti, prodotte in tempi relativamente brevi. Questa tendenza è perfettamente riscontrabile anche in edilizia, dove per fattori legati a politiche economiche, a rapide evoluzioni delle esigenze, a variazioni di modelli d'uso, all'alternarsi dei canoni estetici, sempre più spesso, materiali che non hanno ancora esaurito le loro capacità prestazionali vengano sostituiti con dei prodotti nuovi. Queste nuove esigenze comportano necessariamente, in fase progettuale, l'introduzione di nuovi requisiti tecnologici in tema di salvaguardia dell'ambiente, in funzione di una sostenibilità che va dal risparmio energetico, al "controllo del ciclo di riuso". La questione del riutilizzo/riciclo degli scarti in

edilizia diviene quindi un dato progettuale intendendo che il progetto deve essere la sede nella quale vengono decise le strategie in materia. Malgrado la produzione di rifiuti sia uno degli impatti più consistenti connessi con l'attività di costruzione e demolizione, è ancora scarsa l'attenzione, invece, per una progettazione che si preoccupi di ottimizzare anche la fase di dismissione dei manufatti, decidendo le opzioni tecniche in relazione alla possibilità di separare agevolmente e quindi di riciclare efficacemente i residui, una volta che il manufatto progettato abbia raggiunto il termine della fase di esercizio.

Per avere una visione completa d'insieme e evitare scelte non così preventive, occorre confrontare diverse soluzioni, riguardo tecniche costruttive e materiali da utilizzare, e decidere la modalità migliore dal punto di vista ambientale. Il tema relativo ai materiali sta infatti espandendo la propria diffusione, divenuta un importante strumento nei confronti del tema della sostenibilità. Per progettare un piccolo oggetto o un intero edificio, utilizzare un materiale plastico piuttosto che lapideo costituisce grandi differenze, che potrebbero essere tradotte in scelte responsabili, mirate all'utilizzo di materiali, tecniche e sistemi in grado di offrire apporti positivi rispetto ai requisiti di sostenibilità e di salvaguardia dell'ambiente. Le nuove frontiere che sempre più stanno seguendo questa direzione, si sviluppano intorno al concetto legato allo sfruttamento delle risorse naturali del pianeta, dove il ruolo fondamentale sembra esser dato soprattutto dalla conoscenza dei materiali e delle tecniche costruttive. Sempre più spesso il trinomio design, qualità ed ecologia sembra esser imprescindibile, specie se correlato al mondo dell'architettura e dell'edilizia "green". Per questo motivo la scelta dei diversi materiali, utilizzati sia per le costruzioni che per la realizzazione di componenti d'arredo, sta subendo una rapida ed esponenziale espansione, caratterizzando variabili notevoli, sia in termini di design, che di budget piuttosto che qualitativamente. Un materiale può essere definito ecosostenibile, quando il suo impatto sull'ambiente è ridotto ai minimi termini, lungo tutto il suo ciclo di vita, quindi dalla produzione, all'imballaggio, il trasporto e l'utilizzo, per finire con lo smaltimento a fine uso, meglio ancora se con possibilità di riciclo e riutilizzo. Tali caratteristiche potrebbero andare a porre il termine "ecosostenibile" equiparabile con il corrispondente significato di "rinnovabile", facendo riferimento all'utilizzo

delle materie prime utilizzate. In particolar modo i materiali di origine naturale presentano molte delle caratteristiche elencate, motivo per il quale negli ultimi decenni la tendenza al ricorso di essi ha portato ad un'inversione di tendenza, paragonabile per certi versi alla storia della sostenibilità stessa, caratterizzata da una fase post-industriale, dove lo sfruttamento del territorio senza controllo, unito alla ricerca ostinata dei materiali high tech, portò alle attuali e dannose conseguenze. I materiali naturali, in ambito italiano, videro la loro espansione, caratterizzarsi in modo tardivo, rispetto a quanto avvenuto in altri contesti, tuttavia, il loro successo, non può essere inteso come sostituzione ai classici materiali per l'edilizia tradizionale, quali cemento, calcestruzzo, acciaio, vetro, bensì come alternativa, se non come parte integrante di una selezione accurata di materie prima da adottarsi.

Il settore dell'edilizia, ad esempio, ben si presta all'adozione di alternative costituite da prodotti naturali da usare per la coibentazione degli edifici al posto di quelli di derivazione industriale, andando a proporre ottime soluzioni ad esempio per quanto concerne l'isolamento termico ed acustico, garantito da pannelli in fibra di legno, in sughero, in lana di pecora, in canapa o in lino, mentre quelli in fibra di cellulosa sono invece ottenuti dalla carta riciclata, trattandone le fibre con sostanze minerali in modo da renderli ininfiammabili e inattaccabili da muffe e roditori. Il sughero, oltre a poter essere utilizzato in pannelli per l'isolamento, viene impiegato in granuli per ottenere intonaci. La canapa invece è un prodotto che in Italia vanta un'antica filiera produttiva. Con essa è possibile realizzare una sorta di malta, in cui la funzione dell'aggregato, di solito svolta da ghiaia e pietrisco, è assolta invece dal truciolato di canapa. Legandola con calce è possibile ottenere un materiale con cui realizzare mattoni di ottima resistenza, fornendo una valida alternativa a quelli tradizionali. Il legante a base di calce stabilizza la canapa, evitando che possa decomporsi o essere attaccata da insetti e roditori ed evita la fuoriuscita di vapore acqueo che potrebbe esserci dal materiale, con conseguente aumento di umidità in ambiente. Materiale molto interessante e versatile è anche il bambù. Le sue fibre lo rendono più resistente in trazione e compressione rispetto al legno, più resistente in trazione dell'acciaio e più resistente in compressione del cemento. Inoltre è un vegetale che cresce molto velocemente (fino a 60 cm al giorno), quindi è facilmente rinnovabile in natura. Anche in questo caso è possibile rendere il materiale

inattaccabile da funghi ed insetti con vari procedimenti, come l'essiccazione con fumo. Le uniche pecche rispetto alla sua sostenibilità son dovute alle origini di provenienza, in quanto presente in Asia ed America Latina, il trasporto in Europa ed USA implica un notevole impatto sull'ambiente, ulteriormente accentuato dalle sostanze e dai trattamenti al quale tale materiale viene inevitabilmente sottoposto al fine di migliorarne la durabilità.

Secondo gli ultimi aggiornamenti in materia, la ricerca nel settore non si ferma, ogni anno vengono introdotti nuovi materiali di derivazione naturale, dove sostanze presenti in natura vanno a sostituire sostanze chimiche solitamente utilizzate per lo stesso scopo, con un notevole apporto di evidenti benefici, sia in termini ambientali che economici. Fra le ultime proposte, è evidente la tendenza di andare a realizzare una miscela di diversi materiali, ottenuti spesso da scarti, oppure oggetto di riciclo. A partire dall'utilizzo del micelio di funghi come isolante al posto delle schiume plastiche, sino alla realizzazione di biomattoni ottenuti dall'azione di batteri inseriti all'interno di un miscuglio di aggregati, per poi giungere alla già nota soluzione in altri paesi, progettando pannelli portanti in paglia essiccata. Il panorama attuale vanta realizzazioni ed alternative davvero ampie, supportate da continue ricerche ed innovazioni all'interno del settore, andando a perseguire il comune obbiettivo di realizzare un prodotto performante e di qualità, consumando al tempo stesso la minor quantità di materiale possibile. Le ultimissime sperimentazioni nel settore dei materiali edili, tendono a classificare ed aggiornare continuamente i prodotti più innovativi ed ecosostenibili, considerandone le possibili applicazioni, la loro diffusione, i costi, la reperibilità, gli aspetti positivi così come quelli meno favorevoli. Di seguito, si propone a tal proposito, una rassegna fra i 10 materiali edili maggiormente sviluppati dal punto di vista innovativo ed ecosostenibile, collocati e scelti secondo diversi requisiti, molti dei quali, spiccano per l'originalità delle scelte realizzative, altri invece per l'utilizzo estremamente basso di risorse naturali. A partire dagli isolanti prodotti con i funghi o microorganismi, sino ai pannelli in pietra riciclata, dalle coperture in lana di pecora ai biomattoni, la scelta al giorno d'oggi non manca, e lo sviluppo all'interno di tale settore, tenderà a crescere esponenzialmente, con esiti senza dubbio positivi. I 10 materiali edili in esame, sono stati selezionati dal concorso "Product Innovation Challenge", la sfida

bandita dal Cradle to Cradle Products Innovation Institute e rivolta ai prodotti edili ed ai processi produttivi più green, si è tenuta in collaborazione con Make It Right, l'associazione no-profit impegnata nella ricostruzione post-emergenza divenuta famosa per l'Ecoquartiere di New Orleans, ed ha visto la partecipazione di oltre 144 produttori di materiali edili ecosostenibili come isolanti naturali**,** coibentazioni alternative sviluppate a partire da funghi o microorganismi, coperture in pietra riciclata, manti bituminosi recuperati da precedenti demolizioni, e molti altri. La Giuria, composta da chimici, professionisti del settore, dirigenti e membri dell'US Green Building Council, ha potuto esprimere il proprio parere all'interno delle cinque categorie di selezione, rispettivamente composte da requisiti come la salute, il riciclo, il risparmio di risorse idriche, l'energia rinnovabile e la correttezza sociale**.**

- Figura 8: *1 -ISOLAMENTO A BASE DI FUNGHI (Ecovative) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

Questo primo tipo di proposta, costituisce la risposta ecosostenibile alle schiume plastiche, essa è ottenuta a partire da sottoprodotti agricoli tra i quali l'impiego del micelio dei funghi, con conseguenti benefici in termini di isolamento, in quanto le prestazioni del materiale crescono proporzionalmente nel tempo, in relazione allo sviluppo e crescita dello stesso, avvenuti direttamente all'interno della parete muraria. Grazie a questa soluzione ad esempio, le pareti in legno delle abitazioni, se riempite di micelio, formano una struttura ermetica, che in poco meno di un mese vede al suo interno uno strato di isolamento naturale completamente asciutto,

trasformandosi in un prodotto perfettamente ermetico, termicamente resistente, ecologico, privo di VOC ed ignifugo.

- Figura 9: *2 -ISOLAMENTO IN LANA DI PECORA (Bellwether Materials) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

Passando in rassegna al secondo tipo di isolante, ci si trova di fronte ad un materiale edile, realizzato in lana di pecora, caratterizzato da un basso consumo di energia per la produzione, sicuro per l'ambiente e per le persone. L'isolamento di pecora inoltre ha la capacità di assorbire le sostanze inquinanti presenti nell'aria interna, è ignifugo e facilmente riciclabile in fase di post-demolizione.

- Figura 10: *3 – PRODOTTI VERDI IN PIETRA RICICLATA (GR GreenBuilding Products) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

A partire dagli scarti di pietra calcarea, bottiglie di plastica, confezioni e sacchetti alimentari, mediante la componente polimerica che funge da legante materico agli

scarti lapidei è possibile dar origine a componenti per coperture e rivestimenti, andando a realizzare una soluzione completamente riciclabile, anche al termine della propria vita media di utilizzo, considerata indicativamente pari a 50 anni.

- Figura 11: *4 – BIO-MATTONE REALIZZATO CON BATTERI (bioBrick) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

L'azione congiunta dei batteri, produttori di carbonato di calcio, vengono inseriti all'interno di un mix di aggregati che può dar vita ad un eco mattone, interamente realizzato da percorsi di riciclo. Il sofisticato processo produttivo permette inoltre, di ottenere mattoni con prestazioni uguali se non superiori, rispetto a quelli tradizionali, ma con costi di produzione, tempistiche di realizzazione ed emissioni di CO_2 nettamente inferiori.

- Figura 12: *5 – PANNELLI IN PAGLIA (ecococon) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

L’innovazione tecnologica all’interno del panorama dei materiali da costruzione, oltre al mondo degli isolanti, si espande anche in relazione alle strutture portanti, come dimostra l’esempio relativo ai pannelli strutturali in paglia. Il modulo portante, permeabile al vapore, viene prodotto tramite la pressatura della paglia ad alta temperatura, senza l’adozione di collanti chimici e rifinito con un rivestimento in cartone riciclato. L’essicazione di questo materiale, permette di giungere ad una soluzione costruttiva economica ed ecologica, super isolante ed al tempo stesso modulare. Il sistema di pannelli in paglia è composto al 99% da materiali completamente riciclati, soluzione che ha già ottenuto un notevole successo nell’applicazione di case passive.

- Figura 13: *6 – COMPONENTI MODULARI PREFABBRICATI ECOSOSTENIBILI (HaploBuilt) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

Per componenti modulari prefabbricati ecosostenibili, si fa riferimento a dei veri e propri blocchi costruttivi, realizzati con materiali naturali provenienti da fonti rinnovabili, interamente riciclabili e materialmente separabili al termine del proprio utilizzo ed assemblabili in loco, soluzione che ben si presta alla realizzazione di bioarchitetture, specie considerandone il ridotto consumo idrico ed energetico, impiegato all’interno del processo costruttivo.

- Figura 14: *7 – PANNELLI IN FIBRA DI CELLULOSA (Ecor) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*

Il sistema costruttivo dei presenti pannelli in fibra di cellulosa, è caratterizzato dall'aggiunta di leganti come la resina di pino o il solfato di alluminio e di stabilizzanti come le fibre di poliolefine e la juta. Le miscele ottenute vengono successivamente pressate a vapore, lasciate essiccare e poi tagliate nelle dimensioni standard con cui i pannelli vengono venduti sul mercato. Tale processo produttivo richiede un quantitativo limitato di acqua e risorse, avvalendosi di un processo chiuso che consente di recuperare il 99,5% delle risorse impiegate, con notevoli benefici ambientali.

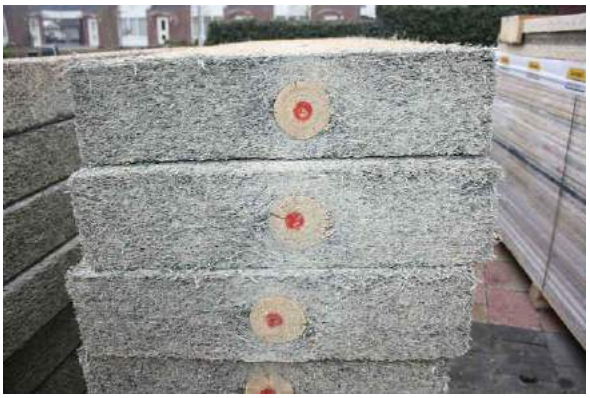
8 – COLORI MINERALI PER PARETI (Roma) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle

Anche quando si tratta di finiture, colori ed applicazioni decorative, il mercato attuale vanta soluzioni ecologiche ed innovative, come ad esempio il ricorso a colorazioni minerali per pareti, una particolare tipologia di vernice lavabile, priva di sostanze chimiche e tossiche, ipoallergeniche e permeabili. La capacità delle stesse di impedire la formazione di muffe e batteri, è data da un totale controllo relativo all'assorbimento di CO2, evitando in tal modo l'insorgere di patologie respiratorie per gli occupanti.

9 – PANNELLI STRUTTURALI RICICLATI (Stormwall Industrie) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle

Una valida alternativa ai tradizionali muri a secco per pareti, soffitti, pavimenti e partizioni, può nascere dall'idea di realizzare un prodotto strutturale caratterizzato dal riciclo di materiali edili precedentemente utilizzati in altre applicazioni, che ben si adatta anche ad impieghi in condizioni climatiche particolarmente svantaggiose, garantendo inoltre una capacità di ridurre le dispersioni di CO_2, pari sino a tre volte rispetto ai tradizionali sistemi costruttivi.

- Figura 15: *10 – PANNELLI RINFORZATI IN LEGNO, PAGLIA E CEMENTO (Dutch Design Initiative) – fonte: http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/materiali-edili-ecosostenibili-cradle*



Ultimi della classifica, ma non in ordine di importanza, sono i pannelli rinforzati in legno, paglia e cemento, utilizzabili tanto per le pareti quanto per i tetti. Si tratta essenzialmente di elementi portanti, composti da una struttura rigida in legno al cui interno vengono opportunamente distribuite le quantità relative all'unione fra la lana ed il cemento. Completamente ignifughi, impermeabili, resistenti a termiti e parassiti, isolanti, fonoassorbenti, privi di emissioni nocive, ed estremamente versatili, la loro diffusione sta espandendosi notevolmente, specie considerandone la loro applicazione in ambito edilizio.

Come precedentemente osservato, l'ampia scelta fra le tecnologie disponibili, unita ad una continua evoluzione delle stesse, espone di conseguenza, le figure professionali di competenza, come ad esempio quella dell'Architetto, a continui aggiornamenti. Il fine consiste nell'acquisire le conoscenze necessarie per il

controllo e la gestione di tutti quei fattori che concorrono al conseguimento dei due obbiettivi principali, sviluppati essenzialmente pensando al concetto di Uomo, inteso come utilizzatore finale di un prodotto, sia esso coinvolto nel processo di nuova edificazione che nell'ambito della manutenzione o trasformazione del patrimonio edilizio esistente.

1. *La diminuzione dell'impatto energetico/ambientale del manufatto*

2. *L'incremento di comfort/benessere per gli utenti del manufatto stesso*

L'organismo architettonico, è dunque dato da una serie di fattori e requisiti diversi fra loro, va quindi definito tecnicamente ed esteticamente attraverso un approccio in cui sempre più la componente climatico/ambientale, diventi essa stessa parte del progetto, così come confermato dall'entrata in vigore della L. 192/05 e del D.Lgs.311/06, sul risparmio energetico. La Disposizione si basa attorno al concetto secondo il quale non può esistere una corretta progettazione degli edifici senza considerarne un uso razionale ed attento dei materiali e delle tecnologie.

L'Architetto Giancarlo Allen, nel suo libro intitolato "Valutazione, selezione e certificazione dei materiali per la bioedilizia", passa in rassegna una definizione tanto sintetica quanto esaustiva, relativa all'argomento trattato: "In estrema sintesi la sostenibilità di un materiale si definisce in relazione alla riduzione ai minimi termini del suo impatto ambientale riferito al suo intero ciclo di vita". In altre parole, un materiale è tanto sostenibile quanto minore è il dispendio di energia da un lato e la produzione di rifiuti dall'altro, necessari per l'estrazione delle materie prime per la sua realizzazione, 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 e riciclo, ed infine per la sua dismissione o smaltimento finale. La sostenibilità di un materiale va valutata quindi "dalla culla alla tomba", attraverso un'attenta analisi della sua biografia.

Per concludere il tema relativo alla figura del professionista e del suo approccio nei confronti della scelta ed analisi del tipo di materiale da adottare, risulta importante segnalare la presenza di un innovativo ed utile strumento, destinato principalmente

ad architetti, progettisti in generale e privati, presentato da Legambiente, con l'acronimo MaINN, una libreria online di materiali innovativi, salubri e sostenibili.

- Figura 16: *Collaborazione di Legambiente per la realizzazione della libreria online Mainn – fonte: http://fonti-rinnovabili.it/mainn*

Il nuovo portale, è stato pensato per aiutare a scegliere il prodotto più corretto e vantaggioso, sia che si tratti di riqualificazione e miglioramento delle prestazioni, che di progetti completamente ex novo, il supporto fornito può esser fruito da un'ampia gamma di utenza, con esigenze e richieste tanto variegate quanto specifiche. La libreria, suddivide i materiali al suo interno in tre categorie, corredate da schede tecniche. Attualmente sono presenti informazioni e approfondimenti su 30 diversi tipi di materiali, accomunati tuttavia dall'efficienza, dalle alte prestazioni energetiche e dalla capacità di orientare le scelte dei consumatori verso un acquisto consapevole e sostenibile. Il sito offre infatti approfondimenti su normativa e regolamenti edilizi, divisi a livello nazionale e regionale, con una sorta di guida agli incentivi. In ambito italiano, il tema degli incentivi, ha negli ultimi anni, incoraggiato non di poco l'utenza ad investire su materiali sempre più ecosostenibili, con evidenti risultati.

Fra i materiali analizzati, a tal proposito, il legno risulta senz'altro fra quelli maggiormente inseriti all'interno di questo discorso, e se in Italia la sua presenza risulta, seppur confermata, ancora in via di sviluppo, in altri contesti la diffusione del legno vanta una tradizione ben consolidata e definita già da tempo. Anche spostando l'attenzione verso le tematiche inerenti alla salvaguardia ambientale, si può notare come questo materiale occupa un ruolo fondamentale, soprattutto all'interno della lotta al cambiamento climatico. Il legno è infatti riconosciuto anche nel Sesto Programma di azione ambientale dell'UE nel quale si afferma che: "l'uso del legno e dei prodotti da esso derivati dovrebbe essere maggiormente sfruttato sia a livello domestico che industriale in virtù della capacità di questo materiale di

assorbire il carbonio". Il vasto campo di applicazione, unito alle naturali doti di questo materiale, merita senz'altro un approfondimento specifico, oggetto di discussione e ricerca del presente elaborato, specie se relazionato alle sempre più attente esigenze in materia di sostenibilità ambientale. Il legno è un materiale per molti aspetti adatto alle costruzioni perché ha ottimi valori di resistenza, paragonabili a molti materiali tradizionali da costruzioni. Nello specifico, fra i suoi molteplici usi è da ricordare quello relativo ai derivati da utilizzare per l'isolamento termo-acustico, realizzando ad esempio pannelli isolanti in fibra di legno, ottenuti legando tra loro i residui sminuzzati della lavorazione del legno, assemblati infine con una resina naturale detta lignina. Vi sono poi notevoli vantaggi in termini di produzione di emissioni di CO_2, la cui bassissima quantità prodotta rende tale materiale, la scelta ideale per contrastare il cambiamento climatico e non aggravare l'effetto serra.

Si parla inoltre di una risorsa facilmente reperibile, grazie alla gestione sostenibile delle foreste, che in Europa aumentano ogni anno la loro superficie.

- Figura 17: *Alberi forestali e gestione sostenibile delle risorse - fonte: http://www.crea.gov.it/foreste-e-legno*

I vantaggi derivanti dalla realizzazione di edifici costruiti in legno, sono diversi, dalla semplicità e velocità di esecuzione, alla facilità di montaggio, dalla leggerezza del materiale all'elevato grado di prefabbricazione raggiungibile degli elementi. In termini di prestazioni richieste, tale materiale sembra inoltre rispondere in modo corretto, prevedibile ed affidabile, con qualsiasi tipologia realizzativa lo si analizzi. Tuttavia, come in ogni analisi, specie se questa viene affrontata in modo oggettivo

ed esaustivo, alle luci vanno inevitabilmente a contrapporsi delle ombre nonché punti deboli, come l'esempio relativo alla durabilità del legno nel tempo. Esso può avere problemi di conservazione, specie con la presenza di ristagni idrici, difetto risolvibile contenendo l'umidità al di sotto del 20% oppure ricorrendo all'utilizzo di vernici naturali, salvaguardando così l'intera struttura da attacchi biotici quali funghi, muffe. Anche se il legno è noto come materiale facilmente infiammabile, la sua resistenza al fuoco è considerata buona, specie se unita al suo comportamento prevedibile ed all'invariare delle proprie caratteristiche, le quali possono inoltre migliorare sottoponendo il materiale ad appositi trattamenti. Per quanto riguarda la resistenza sismica infine, il legno sembra essere fra i materiali più adatti, leggero, deformabile e per questo capace di dissipare molta energia. Dalle ultime ricerche ed analisi legate al mondo del legno, è emerso che, per comprendere appieno i benefici di questo materiale, risulta essenziale confrontarlo ad esempio con metodi di realizzazione tradizionali, con esiti totalmente a favore del primo, specie in relazione all'impatto ambientale, indicandone la quantità di CO_2 liberata e quindi il contributo all'effetto serra.

Capitolo 2 - Il legno, un materiale sostenibile, se…?

- 2.1 Che cos'è? Cenni storici, proprietà ed essenze disponibili, Caratteristiche a confronto con altri materiali, normativa vigente e relazione con il metodo di calcolo LCA

2.1.1 Cenni storici

2.1.2 Proprietà

2.1.3 Essenze disponibili

2.1.4 Caratteristiche a confronto con altri materiali

2.1.5 Normativa vigente e relazione con il metodo di calcolo LCA

- 2.2 Tipologie e Peculiarità delle strutture in legno

2.2.1 Tipologie

2.2.2 Peculiarità delle strutture in legno

- 2.3 Sostenibilità e problematiche (Focus sulle difficoltà generate dai trattamenti, collegamento 2)

2.3.1 Sostenibilità

2.3.2 Problematiche

2.1 Che cos'è? Cenni storici, proprietà ed essenze disponibili, caratteristiche a confronto con altri materiali e normativa vigente

2.1.1 Cenni storici

Come evidenziato in chiusura del Primo Capitolo, alla luce delle ultime tendenze in ambito architettonico, il legno risulta senza dubbio un materiale meritevole di approfondimenti, sviluppi e ricerche continue, in quanto sono diversi i punti di forza che lo caratterizzano e contraddistinguono, specie se messo in relazione con tecniche costruttive relative ai materiali tradizionali.

La preistoria ed il mondo antico, vedono il legno, unitamente alla pietra, come uno dei primi materiali a cui l'architettura si è rivolta, grazie anche al fatto di essere l'unico che poteva indifferentemente essere impiegato a compressione, a trazione e, soprattutto, a flessione. In relazione alla diffusione del patrimonio boschivo il legno ha svolto ruoli diversificati: da materia esclusiva per l'integrale realizzazione delle dimore a materiale con specifiche funzioni come la costruzione di solai e coperture, oppure macchine e oggetti della vita quotidiana. La scarsa durabilità del legno, rispetto alle costruzioni in pietra, ha tuttavia frenato il patrimonio edilizio in legno presente, ad eccezione di alcune importanti realizzazioni, di cui tutt'oggi ve n'è traccia, siano esse testimonianze della cultura egizia, quanto quella greca, per poi giungere alla tradizione romanica. A partire dal I secolo a.C., il legno inizia ad essere al centro del dibattito da parte di importanti figure storiche; Vitruvio infatti individua nell'abete la specie lignea maggiormente idonea per la realizzazione delle travi dei solai, mentre il concetto di capriata e le illustrazioni di tale soluzione costruttiva, iniziarono ad essere presenti nelle traduzioni del XVI secolo, dovute essenzialmente alla cultura rinascimentale dei traduttori.

Durante il Medioevo l'impiego del legno si diversifica ulteriormente in funzione della tradizione locale e delle condizioni geografiche, vantando una diffusione esponenziale in particolar modo in aree nord-europee come quelle norvegesi.

Noto esempio realizzativo di quest'epoca, è la pagoda del tempio di Horyu-Ji Giappone, realizzata nel 607 d.C. Il legno in questa applicazione garantisce la robustezza dell'intera struttura, grazie alla flessibilità che questo materiale, necessariamente comporta. La mobilità delle articolazioni della struttura unita alle proprietà elastiche del legno hanno fatto sì che queste strutture abbiano resistito a terremoti distruttivi, tsunami e potenti tifoni.

- Figura 18: *La pagoda del tempio di Horyu-Ji - fonte: http://year-old-pagoda-at-horyu-ji-temple.html*

Nel Rinascimento italiano personaggi illustri come il Palladio fanno riferimento al legno inteso come un materiale prevalentemente impiegato per solai, capriate e centine di cupole. Leonardo da Vinci, in tal periodo inizia una serie di osservazioni sulle proporzioni delle sezioni resistenti, e sulle deformazioni statiche delle travi; il secolo successivo vede invece Galileo Galilei impegnato nell'impostare correttamente la metodologia di calcolo per determinare le sollecitazioni sulla trave inflessa, problema definitivamente risolto dalla scienza delle costruzioni dell'Ottocento. Analogamente con la colonizzazione delle Americhe sono importati nel Nuovo Mondo i tipi costruttivi tradizionali europei della casa in legno, declinata nelle più svariate interpretazioni.

Successivamente l'età moderna lascerà in eredità soluzioni costruttive in legno con luci sempre più ampie ed una tendenza nell'adottare moduli prefabbricati dalle dimensioni standardizzate, specie nel Nord America, mentre in Europa, fra

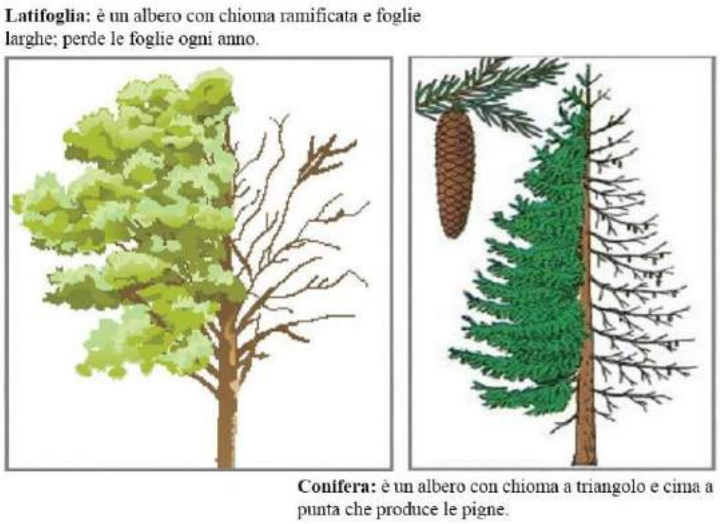
Settecento e Ottocento si assiste ad un processo costruttivo che vede sempre più spesso l'adozione di soluzioni strutturali ibride.

Lo sviluppo e la diffusione di questo materiale tuttavia, subirono un drastico calo a partire dalla fine dell'Ottocento, dove l'introduzione della ghisa e dell'acciaio ne decretarono un lento ma inesorabile declino, situazione rimasta tale fino alla seconda metà del Novecento, interrotta solo successivamente grazie all'avvento della diffusione del legno lamellare.

A partire da queste esperienze, con l'età contemporanea si svilupperanno in paesi come la Svizzera e l'Austria, soluzioni e capacità tali da poter raggiungere ragguardevoli luci, con risultati sino a 40 m, traguardo pochi decenni prima, irraggiungibile. Nonostante la rapida diffusione e tendenza nell'adottare principalmente il legno di tipo lamellare, anche quello naturale ha ritrovato nuove applicazioni soprattutto nelle regioni in cui è rimasto vivo l'insegnamento della tradizione come in Finlandia e in centro Europa.

2.1.2 Proprietà

Il legno è il materiale ricavato essenzialmente dai fusti delle piante, in particolar modo dagli alberi e seppur in minor parte, dagli arbusti. Le specie vegetali da cui si può ricavare tale materiale, possono essere suddivise in due grandi categorie, conifere o latifoglie, entrambe caratterizzate dal possedere fusto e rami che crescono concentricamente verso l'esterno di anno in anno e dall'avere i tessuti composti essenzialmente da cellulosa, emicellulosa e lignina. Il materiale ricavato dalle conifere, anche dette gimnosperme, è detto "LEGNO OMOXILO" a causa dell'omogeneità degli elementi da cui esso è costituito, ed è caratterizzato inoltre da anelli di accrescimento ben marcati. Il legno derivante dalle latifoglie, o angiosperme che dir si voglia, è invece definito "ETEROXILO", essendo costituito da una grande varietà di cellule presenti al suo interno.



- Figura 19: *Latifoglie e Conifere - fonte: http://docplayer.it/.html*

Occorre distinguere ulteriormente il caso relativo alle palme, dalle quali non si ricava vero e proprio legno, caratteristica che porta a paragonarle a delle gigantesche erbe. Le piante che non producono legno sono infine dette "erbacee" e includono tutte le piante annuali, molte perenni e altrettante di tipo acquatico, subacqueo e galleggiante.

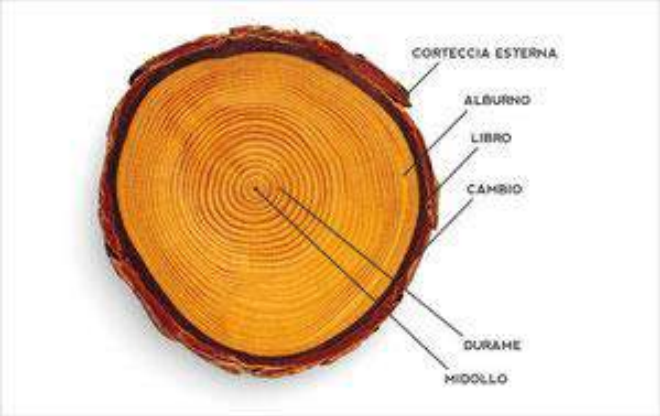
Il legno si presenta come un prodotto dalle ottime caratteristiche di robustezza e resistenza, ed è per questo spesso impiegato dall'uomo come elemento strutturale,

dopo esser stato sottoposto ad opportuni tagli e ad una stagionatura accurata. Questo materiale è destinato inoltre ad un'ampia varietà di utilizzi, spesso legati al mondo dell'edilizia, dal riscaldamento alla realizzazione di strutture, dalla componentistica sino al mobilio. Se scomposto in fibre inoltre, il legno può dar origine alla produzione della carta, mentre lo stesso, può essere declinato in derivati economici come, per esempio, il truciolare o pannelli preformati che assumono il nome di medium-density fibreboard (MDF). Tuttavia, specie negli ultimi decenni, quest'essenza sta subendo una sempre più sovente sostituzione dal metallo o dalle materie plastiche, con conseguenze economiche ed ambientali non così positive. Da un punto di vista commerciale, esso può essere classificato in tenero e duro; al primo caso corrisponde quello derivato dalle conifere, come ad esempio il pino o l'abete, mentre al secondo, il legno derivato sostanzialmente dalle angiosperme, come l'ontano, la quercia o il noce. Tale classificazione tuttavia, è risultata negli anni frutto di un errore di traduzione, dovuto al fatto che le due distinzioni in inglese, stanno ad indicare semplicemente le rispettive specie di provenienza, precedentemente identificate come conifere e latifoglie. La provenienza di cui prima argomentato, dà origine a prodotti che differiscono notevolmente sia in termini di colore che di densità, con conseguenziali disomogeneità delle venature degli stessi. A causa di queste differenze ed ai vari tassi di crescita, i prodotti lignei in commercio prevedono un notevole discostamento sia in termini di prezzo che di qualità.

Per esempio, il mogano, caratterizzato da un color denso e scuro, è ottimo per gli intarsi e per raffinate finiture, mentre la balsa, leggera, soffice, dalla consistenza spugnosa facilmente intagliabile, è usato nella realizzazione di modellini. Notoriamente, i due esempi presentati, servono a mettere in evidenza come la differenza qualitativa ed economica dei materiali adottati, comporti spesso svariate applicazioni, dettate da esigenze altrettanto mutevoli.

Prima di passare in rassegna ad una dettagliata esplicazione relativa alle caratteristiche chimico-fisiche del legno, per poi presentarne le possibili applicazioni costruttive in ambito edilizio, occorre meglio approfondirne gli aspetti generali, per comprendere le specificità legate alla conoscenza dello stesso. In

prima battuta, risulta fondamentale partire dalla composizione ed origine del materiale, andando ad analizzarne la stratigrafia interna.



- Figura 20: *Stratigrafia interna del legno - fonte: http://docplayer.it/.html*

A partire dall'esterno verso lo strato più interno, si possono evidenziare gli elementi costitutivi del tronco, distinguendone le diverse funzioni. Lo strato posto maggiormente all'esterno è costituito dalla corteccia, parte fisiologicamente morta, svolge la funzione di protezione della pianta consentendo al tempo stesso gli scambi gassosi necessari al nutrimento di quest'ultima. Il libro contiene invece i vasi che conducono il nutrimento sintetizzato dalle foglie ad ogni parte dell'albero, mentre lo strato sottile di tessuto responsabile della produzione del nuovo legno prende il nome di cambio. Fondamentale risulta il ruolo ricoperto dall'alburno, formato da cellule vive che costituiscono l'apparato circolatorio della pianta consentendo la conduzione dei sali minerali dalle radici verso le foglie, mentre la parte centrale del tronco, è costituita dal midollo, generalmente poco differenziabile dal durame che lo contiene. Quest'ultimo, posizionandosi nella parte più interna del tronco, è caratterizzato da cellule morte e si contraddistingue a livello commerciale, per essere quello più pregiato, costituendo la parte più vecchia della pianta. Per tali ragioni, si presenta inoltre come quella più stabile e meno soggetta agli attacchi dei parassiti, la cui produzione è garantita dalla crescita dell'albero, all'interno del quale l'alburno diventa con il passare del tempo durame.

Per meglio conoscere il comportamento del legno nel tempo, specie in occasione di applicazioni legate al mondo dell'edilizia, non si possono trascurare gli aspetti relativi alla composizione del materiale, costituito dal 50% di carbonio, al quale si

affianca l'ossigeno per il 42%, l'idrogeno per il 6% ed infine dal 2% restante, caratterizzato essenzialmente da minerali, azoto e estratti (tannini…). A partire dagli studi compositivi, si può giungere alla definizione di alcune proprietà fondamentali, che saranno oggetto nei prossimi paragrafi, di successivi approfondimenti.

Resistenza a trazione e compressione

Questo primo ed importante parametro varia notevolmente a seconda della direzione della sollecitazione, maggiore nel senso delle fibre, nettamente inferiore trasversalmente ad esse, mentre l'aumentare del tenore di umidità ne determina un proporzionale incremento in termini di resistenza.

Durata

Per determinare la durata di un materiale ligneo, entrano in gioco fattori che dipendono soprattutto dalla specie, dalla presenza o assenza di alburno e dal contenuto di umidità interna.

Resistenza al fuoco

La tematica qui presente, sarà oggetto di successiva trattazione, costituendo in qualche modo, parte dei seppur ridotti, punti deboli del materiale. La cellulosa è l'elemento costitutivo del legno responsabile dell'infiammabilità che lo caratterizza, anche se, a differenza di quanto comunemente si pensi, la sua resistenza al fuoco è paragonabile a quella dell'acciaio e dell'alluminio. Esistono inoltre dei trattamenti realizzati appositamente per incrementarne le proprietà ignifughe, attraverso l'applicazione di semplici vernici superficiali.

Conducibilità termica ed elettrica

La bassa densità che contraddistingue il legno, lo rende un materiale dalla ridotta conducibilità, posizionandosi fra i migliori isolanti termici ed elettrici.

Resistenza chimica

L'elevata resistenza chimica del presente materiale, lo rende idoneo all'utilizzo nelle industrie chimiche, oltre che negli edifici posti in ambienti fortemente inquinati o caratterizzati da una componente salina elevata, come nel caso delle costruzioni al mare.

Proprietà tecniche

In definitiva, fra le proprietà tecniche, risaltano in particolar modo i caratteri organolettici, caratterizzati dalle proprietà di ordine estetico-figurativo come ad esempio il colore, la trama ed il disegno superficiale, oltre a quelli di tipo fisico e meccanico, nonché le proprietà di ordine fisico come la densità e la porosità, giusto per citarne i principali.

2.1.3 Essenze disponibili

Oltre alle caratteristiche precedentemente accennate, il legno si contraddistingue da una serie di peculiarità volte alla definizione dei caratteri materico-formali che lo differenziano sostanzialmente da qualsiasi altro materiale presente in commercio; a partire dal gran numero di essenze disponibili, si possono individuare tonalità cromatiche e comportamenti al tatto nettamente differenti fra loro.

- Figura 21: *Stratigrafia interna del legno – fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Il concetto legato al comportamento tattile del materiale, dipende essenzialmente dal tipo di venatura dello stesso, la quale è data dal contrasto fra le zone tardive e quelle primaverili degli anelli di accrescimento annuali, e può essere più o meno marcata, evidente o a festoni. Il colore, pur essendo in linea di massima, peculiare per ogni essenza legnosa, ha tonalità notevolmente diverse tanto nelle stesse specie quanto in un medesimo tronco. La porosità è infine un fenomeno determinante ai fini della tinteggiatura del legno; richiedono ad esempio maggior attenzione, i legni più teneri, quelli con i raggi midollari più piccoli, quelli senza resina e la zona primaverile degli anelli di accrescimento. Come presentato in apertura del capitolo, con il legno è possibile dunque garantire le esigenze di qualsiasi utenza e per ogni

tipologia di applicazione, versatilità resa tale anche dalla grande varietà di essenze disponibili, le quali saranno declinate e presentate di seguito. In particolare, si fa riferimento alle specie legnose maggiormente impiegate in edilizia, per un uso prettamente strutturale.

- Figura 22: *Abete Rosso, Picea abies Karst - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

I caratteri macroscopici di quest'essenza, fanno riferimento ad una struttura determinata da un durame molto chiaro, unito ad un alburno che da biancastro può raggiungere tonalità tendenti al giallo paglierino-rossastro, gradazioni che possono con l'esposizione alla luce scurirsi ulteriormente. Gli anelli annuali risultano in questa variante ben distinguibili, con un conseguente legno tardivo giallo-rossastro, mentre quello primaverile rimane nettamente più chiaro, quasi biancastro, entrambi separati da una fase di transizione prevalentemente graduale. L'abete rosso, essendo un materiale tenero e con canali resiniferi poco numerosi, si distingue facilmente dalla variante bianca, anch'essa tuttavia strutturalmente rigata con venature principalmente disposte in corrispondenza delle zone tardive. La durabilità e la lavorazione sono caratterizzate da un durame resistente agli attacchi fungini, difficilmente impregnabile. L'essiccatura è buona, così come l'incollaggio e la resistenza agli acidi deboli ed agli alcali. In edilizia, l'abete rosso trova largo impiego, specialmente come legno da costruzione, per strutture di copertura, realizzazioni ausiliarie come casseri e ponteggi, finiture di interni ed esterni (mobili, pannellature, porte, finestre, scale, profilati). Grandi quantità sono inoltre impiegate per la produzione industriale di cellulosa, pasta di legno e pannelli a base legno,

mentre gli abeti montani, avendo anelli di crescita molto sottili, trovano largo spazio per la produzione di strumenti musicali.

- Figura 23: *Abete Bianco, Abies alba Mill – fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

L'abete bianco è caratterizzato da un durame chiaro, con un alburno che presenta un luccichio tendente al grigio violetto. Gli anelli di accrescimento annuali sono ben distinti, con legno tardivo giallo-roseo e una zona di transizione graduale, priva di canali resiniferi e senza sacche di resina, differenza sostanziale che lo contraddistingue dall'abete rosso. Le venature presentano la particolare disposizione linguiforme, la struttura rigata presenta talvolta un durame scuro e umido, dall'odore debolmente acidulo. In termini di durabilità e lavorazione, si comporta verosimilmente come la variante rossa, con un durame poco resistente agli attacchi fungini, un alburno moderatamente impregnabile, buone caratteristiche di essiccatura ed incollaggio, discreta resistenza agli acidi ed agli alcali. L'impiego risulta inoltre analogo a quello della variante rossa, preferibile soltanto laddove non è gradita la presenza di resina.

- Figura 24: *Pino Silvestre, Pinus sylvestris L. - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Il pino silvestre presenta un durame bruno-rossastro nettamente distinguibile dall'alburno giallo chiaro, con anelli di crescita ben distinti ed una transizione da graduale sino a piuttosto brusca fra la zona primaverile e quella tardiva. Riconoscibili sono inoltre i canali resiniferi, con venature decorative ed una rigatura marcatamente presente. Il durame si configura come poco resistente agli attacchi parassitari esterni e difficilmente impregnabile, a differenza dell'alburno. L'essiccatura e l'incollaggio risultano agevoli, peculiarità che rendono il pino silvestre largamente adottato come legno da costruzione per finiture di interni ed esterni, nell'industria mineraria, nelle costruzioni navali e di carrozze. Da quest'essenza si possono inoltre ottenere compensati, per mobili dal tocco rustico e per ristrutturazioni di interni, oltre che per la realizzazione di piloni e traversine, ma soprattutto pannelli truciolari.

- Figura 25: *Larice Europeo, Larix decidua Mill - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Il larice risulta facilmente distinguibile da un durame molto scuro, mentre l'alburno è abbastanza chiaro e sottile. Gli anelli di accrescimento risultano ben distinti, così come netta è la differenza tra la zona primaverile e quella tardiva. Nonostante l'elevata presenza di resina i canali resiniferi non sono particolarmente numerosi, molto piccoli e presenti soprattutto nella zona tardiva. Le rilevanti venature decorative e le evidenti rigature conferiscono al larice un aspetto inconfondibile. Se il durame si presenta moderatamente resistente agli attacchi fungini e difficilmente impregnabile, l'alburno si caratterizza per la sua moderata capacità d'impregnarsi. La naturale predisposizione all'essiccatura può risultare compromessa in caso di legno molto resinoso, mentre non si rilevano particolari problemi nell'incollaggio. L'impiego di tale essenza risulta molto ampio e differenziato, prevalente costituito da legno da costruzione per finiture di interni ed esterni o a contatto con il terreno, industria mineraria, imbarcazioni, costruzioni idrauliche e di ponti, sili e torri di raffreddamento, finestre e porte, scandole, piloni e traversine, mobili, rivestimenti interni ed esterni, botti, tini e contenitori particolari per soluzioni chimiche.

- Figura 26: *Douglasia Strutturale, Pseudotsuga menziesii Franco – fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

In questa particolare variante lignea, il durame presenta la caratteristica di scurirsi se esposto alla luce, evidente analogia con il legno di larice. L'alburno è invece chiaro e sottile, con anelli annuali ben distinti, i quali da sottili possono assumere ampiezze considerevoli. I canali resiniferi ben distinti, sono uniti a venature decorative e ad una struttura fortemente rigata. La durabilità e lavorazione sono regolate da un durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini, molto difficilmente impregnabile, così come lo è l'alburno. Se durante la fase di essiccatura si evita la fuoriuscita di resina, i risultati sono garantiti, uniti ad una buona capacità di incollaggio e ad una modesta resistenza agli acidi deboli ed agli alcali. Il douglasia strutturale è molto indicato come legno da costruzione per finiture interne ed esterne, siano esse inerenti a balconi e portoni, quanto a finestre e serramenti in generale. Largo impiego anche per costruzioni idrauliche, ponti, per applicazioni navali ed aereonautiche. Dagli sfogliati per legno compensato si ottengono spesso realizzazioni come botti, serbatoi e sili.

- Figura 27: *Faggio, Fagus sylvatica L. - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Il noto legno di faggio, presenta una struttura macroscopica costituita da un durame chiaro, eventualmente differenziato in età avanzata da un color bruno-rosso, dalla forma irregolarmente a stella. Si tratta di un materiale diffuso-poroso, con anelli annuali ben distinti per zone povere di pori. I vasi sono riconoscibili solo con una lente d'ingrandimento, mentre i grandi raggi midollari risultano ben distinti e chiaramente visibili anche ad occhio nudo. La leggera rigatura che lo contraddistingue, unita ad un durame per nulla resistente agli attacchi fungini, consigliano una particolare attenzione anche per quanto riguarda la fase di essiccatura. Questa specie legnosa locale, è contraddistinta da molteplici possibilità di applicazione, particolarmente indicata per mobili e per finiture d'interni, realizzazioni di aeroplani e di macchine, attrezzi e giocattoli di legno. A causa della modesta stabilità dimensionale non è particolarmente indicato per gli scambi ferroviari, mentre ben si presta alla realizzazione di traversine. Oltre alle costruzioni idrauliche, si possono realizzare prodotti a base di legno, soprattutto di tipo compensato e stratificato, ma anche pannelli truciolari, fibre, cellulosa e carta-carbone.

- Figura 28: *Quercia; propriamente: Farnia, Quercus robur L. e Rovere, Quercus petrea Liebl - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

A livello macroscopico il farnia ed il rovere, sono difficilmente distinguibili, con un durame bruno-rossastro caratterizzato dalla capacità di inscurirsi con il tempo ed un alburno sottile e chiaro. Si tratta di specie lignee prevalentemente porose, con anelli annuali ben distinti, vasi nella zona primaverile e grandi raggi midollari visibili ad occhio nudo. La struttura si presenta con evidenti venature, ampi pori e grandi raggi midollari con rigature molto evidenti. Il durame presente, si dimostra resistente alle aggressioni esterne e difficilmente impregnabile, mentre l'alburno facilmente assume la capacità di esser trattato. La fase di essiccatura merita particolare attenzione, in quanto il farnia ed il rovere tendono a fessurarsi, imbarcarsi e a cambiare colore, motivo per il quale è necessario dedicare il giusto tempo ed impiegare basse temperature in questa operazione. In termini di incollaggio per usi strutturali, si presentano diverse problematiche legate alla reazione degli acidi tanninici con il ferro, manifestando macchie localizzate di color blu, particolarmente evidenti in caso di contatto fra il legno di quercia "fresco" con i metalli a base di ferro. Si tratta di materiali spesso impiegati per la realizzazione di mobili e finiture per interni, legno per applicazioni edili, sottostrutture e costruzioni idrauliche. A differenza del faggio, si tratta di essenze particolarmente indicate per l'ideazione di traversine per scambi ferroviari, oltre che per costruzioni navali, macchine, aeroplani e botti contenitive.

- Figura 29: *Frassino, Fraxinus excelsior L. - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Il frassino, risulta facilmente riconoscibile dall'indistinguibilità fra il durame e l'alburno da cui è composto, spesso dello stesso colore e con la comune tendenza ad inscurirsi con la luce del sole, sino a raggiungere tonalità di color oliva. La struttura si presenza porosa-zonata, con conseguenti anelli di accrescimento annuali ben distinti. Evidenti le venature da pori nella zona primaverile, così come ben visibili sono le rigature, mentre i raggi midollari risultano ben distinguibili anche senza un'apposita lente di ingrandimento. La durabilità e lavorazione di questa specie, sono caratterizzate da un durame ed alburno chiari, relativamente difficili da impregnare. Se l'essiccatura e l'incollaggio non presentano particolari controversie, è importante considerarne la scarsa resistenza agli attacchi fungini. Il frassino è facilmente impiegabile per la realizzazione di mobili e relative finiture d'interni, specie nel caso di applicazioni dove sono richieste particolari forme curvilinee. Un tempo, la produzione sportiva di sci, era caratterizzata da un largo impiego di frassino, così come la costruzione di apparecchi, macchine, veicoli, vagoni, barche ed aeroplani, mentre tutt'oggi ben si presta alla caratterizzazione di manici di utensili e scale di legno.

- Figura 30: *Robinia, Robinia pseudocacia L. - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Caratteristica della struttura macroscopica di tale specie, è il durame dal particolare colore dal giallo-verde al giallo-bruno, abbinato ad un alburno tendenzialmente chiaro e sottile. Grazie alla porosità zonata, gli anelli annuali sono ben distinti e i vasi nella zona primaverile visibili ad occhio nudo, viceversa, i raggi midollari e i vasi nella zona tardiva si presentano riconoscibili solo con un'apposita lente d'ingrandimento. Le particolari venature da pori inoltre, con anelli annuali decisamente delimitati, portano ad un'evidente formazione di striature con raggi midollari perfettamente visibili. L'ottima durabilità che contraddistingue la robinia, è data da un durame molto resistente agli attacchi esterni, di conseguenza molto difficilmente impregnabile, non così per l'alburno, facilmente trattabile. L'essiccatura, nonostante sia considerata mediamente buona, merita attenzione, tempo e cautela, evitando così dannose fessure ed imbarcamenti, discorso analogo per quanto riguarda la difficile lavorabilità e l'elevato grado di impegno richiesto per l'incollaggio. L'impiego nell'industria mineraria, unito alla realizzazione di costruzioni idrauliche e nel suolo, oltre alle applicazioni per mulini, macchine agricole, realizzazioni navali e ferroviarie, mobili da giardino, rivestimenti esterni, pali, piloni e botti, fanno di questo materiale un'ottima risorsa, molto richiesto e dall'elevato valore commerciale.

- Figura 31: *Castagno Castanea sativa Mill - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

Per ultimo, ma non meno importante, si passa in rassegna alle caratteristiche del castagno, costituito da un durame differenziato dal color bruno ed un alburno stretto e quasi bianco. La porosità tipica di questo materiale, porta ad una conseguenziale distinguibilità degli anelli di accrescimento, con vasi nella zona primaverile ben visibili ad occhio nudo, mentre quelli presenti nell'area tardiva, uniti ai raggi midollari, sono riconoscibili soltanto con una lente di ingrandimento. Evidenti le venature, rigata la struttura, il castagno presenta un durame resistente ma poco impregnabile, con un alburno moderatamente trattabile. L'essiccatura difficile e lenta, è data dalla marcata tendenza al collasso cellulare unita ad una leggera predisposizione all'imbarcarsi, mentre per l'incollaggio, seppur soddisfacente, in presenza di umidità elevata è opportuno considerarne la possibile corrosione dei metalli, con conseguenti azzurramenti del legno. L'impiego relativo al castagno, è dato prevalentemente da applicazioni relative all'arredamento, nello specifico per la realizzazione di finiture, mobili e parquet. Soddisfacente anche nel caso di applicazioni idrauliche e navali, mentre in Francia è comunemente utilizzato come doghe per botti.

2.1.4 Caratteristiche a confronto con altri materiali

Il legno, poiché di origine biologica, si comporta come qualsiasi materiale considerato "vivo", di conseguenza può presentare variazioni legate sia alla specie che al luogo di provenienza. A tal proposito si possono ottenere variabilità di caratteristiche tanto all'interno della stessa specie quanto all'interno dello stesso fusto. Una peculiarità tipica del legno è l'anisotropia, dovuta alla sua particolare struttura. Questo comporta che le sue caratteristiche anatomiche e morfologiche dipendono dalla sezione esaminata, mentre quelle tecnologiche sono influenzate dalla direzione lungo la quale sono rilevate. Riprendendo il concetto intrapreso nel precedente paragrafo, in direzione parallela alla fibra la rigidezza e la resistenza sono molto elevate, mentre nel verso perpendicolare si hanno valori molto più bassi. Un'altra prerogativa che differenzia il legno da altri materiali è la sua elevata igroscopicità, intesa come la capacità di scambiare umidità con l'atmosfera anche dopo molti anni dall'abbattimento. Tuttavia, questo fenomeno nei periodi prolungati può portare ad avere variazioni dimensionali considerevoli, con conseguenti problematiche, soprattutto in direzione tangenziale. Questi mutamenti avvengono all'interno del campo igroscopico compreso fra lo 0% ed il 30% di umidità del legno.

I fattori che influenzano il ritiro così come il rigonfiamento del legno sono principalmente dovuti alla massa volumica ed alla composizione chimica. Il comportamento di tale materiale, se sottoposto a sollecitazione, ha un comportamento di tipo elastoplastico, ciò significa che all'aumentare della forza applicata la deformazione aumenta, sino al raggiungimento del limite di proporzionalità dopo il quale si giunge alla rottura. I difetti, specie se considerati per un utilizzo strutturale, influenzano non di poco il comportamento del materiale, soprattutto nel caso di trazione e flessione, riducendo la capacità di resistenza del materiale e innescando una rottura precoce. Anticipando parte del paragrafo successivo, dove saranno mostrate infatti alcune applicazioni costruttive in legno, si può facilmente comprendere il motivo per cui è molto utilizzato il legno lamellare. Questo prodotto risponde a diverse problematiche come le limitazioni dimensionali, presentando fra i numerosi vantaggi, quello di poter realizzare sezioni variabili ed elementi curvi come archi. Mentre in una trave di legno massiccio non

si può fare nulla per limitarne la presenza di difetti, i quali influiscono negativamente soprattutto sulle resistenze meccaniche dell'elemento, nel caso di un'applicazione in legno lamellare, è tuttavia possibile ridurne se non eliminarne i difetti, scartando le tavole con troppi difetti oppure eliminando alcuni nodi con la tecnica delle giunzioni di testa ("finger joint"), ponendo le lamelle maggiormente "difettose" nei punti meno sollecitati nella sezione dell'elemento strutturale.

Come evidenziato nella tabella sottostante, il legno lamellare è diviso in classi di resistenza, si prenda ad esempio il GL24, comparando il modulo di resistenza a flessione con il peso specifico, si può osservare che il legno lamellare ha valori simili all'acciaio ed addirittura superiori al calcestruzzo. Un altro vantaggio relativo alle costruzioni in legno è il rapporto tra il modulo elastico a flessione (E) e la resistenza a compressione (f). Qui di seguito si riportano in tabella i principali valori a confronto con alcuni materiali.

	Modulo di elasticità a flessione	Peso Specifico	Res. a compressione	Rapporto E su f	Rapporto E su Ps
Materiale	**E (N/mm^2)**	**Ps (Kg/dm^3)**	**f (N/mm^2)**	**E/f**	**E/Ps**
acciaio C40	220000	7.87	460	480	28000
Alluminio	70000	2.69	350	200	26000
Calcestruzzo	28000	2.45	23	1250	11500
Lamellare GL24	11600	0.45	24	483	25778

- ***Tabella 2.1.4.1:*** *Caratteristiche meccaniche del legno lamellare GL24 a confronto con alcuni materiali edili. Normativa DIN 1052 - fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Dalla presente tabella si nota chiaramente come il legno lamellare abbia un modulo di elasticità 20 volte inferiore rispetto a quello dell'acciaio C40, mentre paragonandolo al calcestruzzo, il legno lamellare ha una resistenza a flessione inferiore della metà, considerando tuttavia un peso specifico inferiore di circa sei volte. Tradotto in termini prestazionali, ciò significa che a parità di peso, il legno ha una resistenza a flessione doppia rispetto a quella del calcestruzzo.

	Peso specifico	Conducibilità termica
Materiale	**Ps (Kg/dm^3)**	**λ (W/mK)**
Acciaio	7,87	60
Alluminio	2,69	200
Calcestruzzo	2,45	1,4
legno di conifere flusso di calore trasversale alle fibre	0,45	0,13
legno di conifere flusso di calore lungo le fibre	0,45	0,22

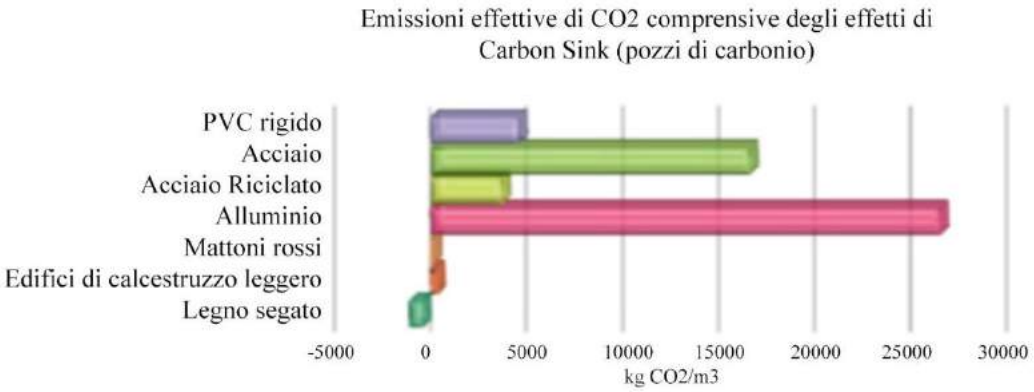
- Tabella 2.1.4.2: *Peso specifico e conducibilità termica di alcuni materiali edili - fonte: http://www.agenziacasaclima.it*

Dalla tabella sopra indicata, si può osservare che il legno, non essendo un buon conduttore di calore, vanta d'altro canto capacità isolanti di molto superiori agli altri materiali, peculiarità che porta a pensare come le case in legno, possano senza eccessivi accorgimenti garantire un ottimo risparmio energetico, a differenza di quanto potrebbe invece accadere con edifici tradizionali.

Un altro aspetto da non trascurare riguarda la disponibilità di legno e il suo approvvigionamento, regolato da politiche di sfruttamento sostenibile, in modo tale da non intaccare le riserve mondiali provenienti da foreste e boschi.

Inoltre, i processi di trasformazione del legno, affinché diventi materiale da costruzione, non incidono significativamente sull'ambiente come diversamente accade per altre materie prime. Le fonti maggiori di inquinamento considerate quota parte del processo di trasformazione del legno, sono causate essenzialmente dai gas di scarico delle macchine per il taglio dei tronchi e per il relativo trasporto, mentre per le lavorazioni successive si utilizzano soprattutto macchinari azionati da energia elettrica. Lo smaltimento finale del legno può avvenire invece secondo due modi, una prima modalità prevede l'immissione di questo nella catena produttiva, ottenendo principalmente dei derivati (pannelli di particelle, MDF - Medium Density Fibreboard, pannelli di fibre, OSB - Oriented Strand Board), mentre nel secondo caso viene usato come combustibile. A differenza del legno, molti altri materiali come ad esempio il laterizio, non possono essere riutilizzati completamente, senza considerare l'elevatissimo impatto ambientale che la maggior parte di essi hanno, con conseguenti dispendi economici ed energetici. Segue a quanto esplicato una tabella, che meglio esemplifica e sottolinea la

differenza fra il legno ed altri materiali, in termini di emissioni di anidride carbonica impiegate per la produzione.



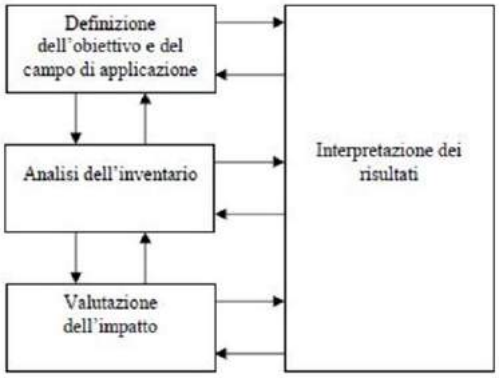
- Tabella 2.1.4.3: *Relazione ambientale su materiali da costruzione (RTS 1998-2001) - fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Riassumendo il confronto con altri materiali ne risulta che il legno è considerato un materiale molto adatto alle costruzioni, specialmente grazie a caratteristiche specifiche quali maggior leggerezza strutturale, ottimo isolamento termico, elevata biocompatibilità ed economicità generale. Come in ogni scelta relativa al miglior materiale da adottare, non mancano punti deboli ed ombre, ai quali verrà dato ampio spazio nei capitoli successivi.

2.1.5 Normativa vigente e relazione con il metodo di calcolo LCA

Attualmente, in Italia è in vigore il DM 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni", del tutto aggiornato rispetto al precedente DM 14/09/2005. In tale occasione sono state emanate nuove legislazioni che costituiscono un netto miglioramento rispetto alla versione precedente, infatti, attualmente sono ben tre i paragrafi riguardanti la progettazione di strutture di legno. In particolare, la sezione 4.4 del presente decreto, fa riferimento ai requisiti generali e le metodologie di valutazione della sicurezza in termini di resistenza, stabilità, funzionalità, robustezza e durabilità secondo il metodo degli stati limite. Il paragrafo 7.7 definisce invece le tipologie strutturali ammesse e le corrispondenti classi di duttilità oltre alle prescrizioni aggiuntive per le costruzioni di legno in riferimento alla progettazione nei confronti delle azioni sismiche. Infine, all'interno del capitolo 11 vengono definite le proprietà dei materiali e prodotti strutturali a base di legno e le relative procedure. Parallelamente si possono utilizzare gli Eurocodici, ossia documenti normativi europei per la progettazione strutturale, come ad esempio l'Eurocodice 5, attualmente il riferimento più completo legato alla progettazione delle strutture di legno, al loro utilizzo ed alle relative applicazioni. Esso definisce le regole di progettazione, calcolo ed esecuzione delle strutture in legno, relativamente ai requisiti di resistenza meccanica, funzionalità, durabilità e resistenza al fuoco. Il documento è diviso in tre parti, regole generali e regole per gli edifici, progettazione strutturale contro l'incendio e ponti, mentre per quanto concerne gli aspetti sismici, si fa riferimento all'Eurocodice 8. La normativa legata all'uso strutturale del legno, indica inoltre quali sono le caratteristiche e i difetti ammissibili nelle diverse classi di resistenza, divise da una o più gruppi di specie legnose e dalla provenienza geografica. La classificazione può essere eseguita "a vista" oppure "a macchina", mentre è appropriato che i calcoli delle resistenze siano effettuati sui valori caratteristici registrati per le sollecitazioni considerate, piuttosto che sulla media dei risultati. I segati ad esempio, vengono classificati in diverse categorie, secondo normative, perché non sono tutti adatti all'uso costruttivo.

Fra i vantaggi precedentemente osservati, risulta fondamentale partire dall'ampio controllo che si può arrivare ad ottenere, progettando con il legno; infatti in ogni fase costruttiva in cui esso è coinvolto, onde evitare errori e costosi rimedi, questo materiale può benissimo esser monitorato in tutte le fasi del proprio ciclo di vita, dall'estrazione della materia prima sino allo smaltimento o riciclo a fine utilizzo. La tecnica più utilizzata nell'attuazione di tale controllo è l'LCA, il *Life Cycle Assessment*, un metodo di calcolo molto utile al fine di prevedere e quantificare i costi di un progetto durante l'intero ciclo di vita. Abbinando tale metodologia, ad una progettazione consapevolmente sostenibile, si possono produrre risultati davvero elevati, motivo per il quale l'attuale normativa ne regola e definisce gli aspetti essenziali.



- Figura 32: *Schema relativo alle fasi LCA - fonte: http://www.magazinequalita.it*

Il Life Cycle Assessment si sviluppa sostanzialmente in quattro fasi, dalla definizione dell'obbiettivo e del campo di applicazione, all'analisi di inventario del ciclo di vita, per concludere con la valutazione dell'impatto e l'interpretazione dei risultati finali. Se in una prima fase è fondamentale la qualità dei dati iniziali, lo step intermedio spesso presenta non poche difficoltà, dovute soprattutto alla mancanza di una banca dati italiana ufficiale, obbligando così a far riferimento a banche d'informazione straniere con inevitabili approssimazioni. La fase finale d'interpretazione è invece necessaria per analizzare i dati ottenuti, giungere alle dovute conclusioni, spiegare le eventuali difficoltà e limitazioni dello studio e comunicare in ultima battuta i risultati in modo trasparente e comprensibile. La stretta relazione fra l'importanza di tale applicazione con l'attuale quadro

normativo, pongono l'analisi LCA articolandola secondo le norme ISO della famiglia delle 14040.

2.2 Tipologie e peculiarità delle strutture in legno

2.2.1 Tipologie

Come già si è potuto intuire nei precedenti capitoli, il legno è un materiale molto indicato nel settore edilizio, grazie alle ultime tecnologie di trasformazione è inoltre possibile avere scarti minimi. Utilizzando in particolare il legno lamellare non si hanno limiti dimensionali ed è possibile scartare le parti non adatte, motivo per il quale è spesso il più richiesto del settore, mentre, non meno degno di nota risulta il legno massiccio, che presenta anch'esso, diversi vantaggi tecnici ed economici. La schematizzazione sottostante, riporta le principali peculiarità del legno, relative all'applicazione nel settore edilizio, a confronto con i materiali di analoga concorrenza.

_ Migliore resistenza sismica, dovuta alla sua elasticità.

_ Migliore traspirazione e isolamento termico, che consente di ridurre le spese di riscaldamento.

_ Minori costi in opera, con un risparmio di circa il 15% rispetto al calcestruzzo.

_ Maggior leggerezza, considerando ad esempio che un tetto in cls pesa circa quattro volte di più rispetto ad uno ligneo.

_ Maggior resistenza, soprattutto valutandone il rapporto fra resistenza meccanica/peso sepcifico, considerato pari a quello dell'acciaio e ben cinque volte superiore a quello del cls.

_ Elevata durabilità anche in condizioni climatiche difficili, purché non si abbiano ristagni idrici.

_ Possibilità di realizzare qualsiasi tipologia architettonica ed estetica, sia essa costituita da intonaco, mattoni o pietra a vista, con il legno risulta possibile adattarsi alle varie esigenze urbanistiche e paesaggistiche.

_ Ultimo, ma non di minor importanza, è l'aspetto economico, precedentemente analizzato in relazione al metodo di calcolo LCA. Uno studio condotto nel 2002 dal dipartimento delle costruzioni in acciaio e legno dell'Università di Lipsia in

Germania, basandosi sul costo complessivo di una casa in legno, in relazione alla propria durata, ha mostrato come questa tipologia edilizia costituisse un investimento valido al pari di qualsiasi altro, tuttavia con costi di manutenzione per nulla maggiori di quelli degli edifici costruttivi in altro materiale, con un livello di manutenzione non eccedente quella ordinaria. Ulteriore ma fondamentale caratteristica che porterebbe a preferire il legno, è il basso carico ambientale, unito all'utilizzo di risorse rinnovabili, ampiamente disponibili e spesso a chilometro zero.

Così come diverse sono le specie arboree da cui ottenerne la materia prima, altrettanto vari sono i metodi costruttivi per edifici in legno, scelti in base a molte variabili tra le quali spiccano in primo piano l'esigenza del cliente e le limitazioni date ad esempio dai regolamenti edilizi. E' comunque di primaria importanza l'aspetto estetico, soprattutto quando la cultura del territorio non facilita l'introduzione di edifici diversi da quelli tradizionali. Ogni sistema costruttivo ha le proprie caratteristiche distintive che lo differenziano dagli altri per comportamento strutturale o per gli aspetti estetico-architettonici o ancora per dettagli costruttivi che lo rendono più o meno adatto ai diversi contesti, ma tutti offrono gli stessi vantaggi, elencati e sintetizzati nella sezione sottostante.

_ Semplicità e velocità di esecuzione, grazie alla leggerezza del legno il trasporto risulta facile e la maneggevolezza nell'utilizzo in cantiere elevata.

_ Semplice montaggio degli elementi strutturali, dove sia le componenti impiantistiche che quelle inerenti la finitura, una volta realizzata la struttura di base, possono essere montate a secco direttamente sul supporto ligneo mediante l'adozione di semplici componenti di ferramenta. Inoltre, le dimensioni ridotte degli elementi portanti consentono la realizzazione di vani ed intercapedini porta impianti e di climatizzazione naturale con sezioni non realizzabili con altri materiali, con l'essenziale, ma non unico, vantaggio di avere costi di manutenzione particolarmente contenuti.

_ Elevata durata nel tempo con costi di gestione del materiale in linea con quelli necessari agli edifici tradizionali, a patto di predisporre di opportuni trattamenti successivi alla posa iniziale.

_ Buon isolamento termo-acustico, capacità naturale del legno, particolarmente evidente se si pone la giusta attenzione nella realizzazione dei particolari costruttivi. In questo modo oltre a garantire livelli di comfort termico migliori rispetto agli edifici costruiti con materiali tradizionali, gli elementi a base di legno contribuiscono a migliorare la traspirabilità complessiva dell'involucro migliorando la salubrità dell'edificio e di conseguenza dei fruitori dello stesso.

_ Le strutture di legno hanno ottime caratteristiche di resistenza alle azioni simiche ed un comportamento al fuoco, erroneamente associato ad un punto critico intrinseco del materiale, generalmente prevedibile e addirittura migliore per certi versi rispetto ad altri materiali da costruzione non combustibili.

_ Costi contenuti e competitivi rispetto agli altri materiali, principalmente in virtù dei ridotti tempi di realizzazione e quindi dei minori imprevisti in corso d'opera. Le strutture di fondazione ad esempio, solitamente previste in c.a., sono più leggere rispetto ad analoghe realizzazioni in materiali, con una conseguente riduzione sia in termini di costi, che di tempistiche d'impiego.

Le tipologie oggi più diffuse sono principalmente costituite da strutture a pannelli portanti, da travi e pilastri, da strutture di tipo Platform Frame ed infine da blocchi massicci di legno. Come esplicato in apertura del paragrafo, le alternative presuppongono scelte differenti, dettate da circostanze ed esigenze di varia natura.

STRUTTURA A PANNELLI PORTANTI

- Figura 33: *Struttura a Pannelli Portanti - fonte: http://www.eurolegnoclima.com*

Questo primo tipo di applicazione, è caratterizzata da pannelli costituiti da strati incrociati di tavole in legno massiccio, chiodate o incollate. Il setto portante si presenta "pieno", dotato di buona stabilità dimensionale e con "massa" elevata, mentre il numero di strati è sempre dispari e può variare in base alle circostanze o alle esigenze di un determinato contesto. Viene spesso utilizzato il legno massiccio di abete, in alternativa si possono utilizzare pannelli in larice, pino o douglasia. Questo sistema costruttivo nasce verso la fine degli anni '90 in Austria e Germania, concettualmente rimane invece molto simile alle disposizioni attuali riguardanti un edificio in muratura. Non sono infine, indicate particolari limitazioni inerenti il numero di piani da considerare.

Nello specifico, oggigiorno risulta la tipologia costruttiva più utilizzata, si basa fondamentalmente su pareti pre-assemblate in legno massiccio, andando a rispondere con un solo elemento costruttivo a molteplici funzionalità, dalla compatibilità ambientale alla protezione acustica, dalla velocità di realizzazione al benessere abitativo interno. L'adozione dei pannelli portanti, porta ad una realizzazione degli stessi tramite incollaggio o chiodatura, dove le lamelle essiccate ed incrociate vanno a formare pannelli di spessori diversi, regolati in base al numero degli strati previsti. Se l'umidità d'esercizio è controllata, il materiale che ne deriva vanta un'ottima stabilità dimensionale ed una resistenza alla torsione elevata.

L’unico limite dimensionale, è dato dal trasporto, in seguito al quale oltre alla posa, spesso segue un rivestimento a cappotto isolante, per concludere con l’intonaco di finitura finale.

Spesso di fa riferimento a progetti che utilizzano la tecnologia dei pannelli X-lam, composti da strati di tavole di legno di conifera incrociati l’uno sull’altro. Le tavole sono giuntate nella direzione longitudinale tramite giunti incollati a pettine, nel caso di difetti come ad esempio i nodi, queste possono essere troncate e giuntate, seguendo la logica secondo il quale i componenti di minor pregio estetico vengono utilizzati laddove non occorrono particolari velleità formali, lasciando di conseguenza, in mostra quelli di maggior pregio e dalla minor quantità di difetti possibile. La produzione odierna prevede due tipologie operative differenti, essa può concludersi in una sola fase con l’incollaggio del pannello completo o in più fasi con la produzione di strati singoli e successivamente l’unione del pacchetto di più strati. Il prodotto finito può inoltre avere tre caratteristiche diverse, senza incollaggio con spazio visibile, senza incollaggio a contatto con superficie più o meno continua oppure con incollaggio a contatto e quindi con eventuali fessure da ritiro.

- Figura 34: *Esempio compositivo di legno lamellare incrociato Xlam - fonte: http://www.cbd.si/it/costruzioni-in-legno/legno-lamellare-incrociato-xlam*

Questa struttura è molto versatile e può essere utilizzata sia per costruzioni monofamiliari che per condomini multipiano, oltre che per strutture pubbliche come asili, scuole, cinema. Tuttavia, utilizzando questa particolare tipologia bisogna considerarne un maggiore impiego di materia prima, riducibile se si opta per l'adozione di un legname di qualità inferiore e per pannelli incollati molto rigidi e resistenti.

STRUTTURA A TRAVI E PILASTRI

- Figura 35: *Struttura a Travi e Pilastri - fonte: http://syokuhokan.ihs-co.com*

Questo sistema di costruzione presenta, rispetto alle altre varianti lignee, una maggiore flessibilità architettonica, mentre per i collegamenti rigidi necessita, per motivi di carattere strutturale, dell'uso di elementi di irrigidimento della maglia costruttiva sia nel piano verticale che in quello orizzontale. Questi possono essere realizzati con aste o con pannelli strutturali di legno, in alternativa, con croci in acciaio. Anche in questo caso, la struttura realizzata con questa tecnica è predisposta a sopportare un carico equivalente a due o tre piani. I sistemi architettonici intelaiati hanno origini antichissime, come insegna ad esempio la tradizione giapponese e quella del sud-est asiatico.

I recenti aggiornamenti, negli anni hanno portato questo sistema alla realizzazione di una gabbia strutturale con elementi trave e pilastro collegati fra loro attraverso giunti di carpenteria, sempre più spesso sostituiti da elementi meccanici di collegamento come viti, bulloni, spinotti, scarpe metalliche e piastre in acciaio. Con questo metodo costruttivo si possono realizzare edifici mediamente alti lasciando

al tempo stesso molta libertà nella gestione degli spazi interni. A differenza delle strutture a telaio con altri materiali, come cemento armato e acciaio, con il legno non si hanno incastri veri e propri a causa della deformabilità e delle variazioni dimensionali del legno, per questo motivo vi è bisogno di irrigidire la maglia strutturale, così da ottenere una struttura capace di assorbire perfettamente le azioni orizzontali come il vento e il sisma, per trasmetterle di conseguenza correttamente alle fondazioni.

STRUTTURA PLATFORM FRAME

- Figura 36: *Struttura Platform Frame - fonte: http://www.ecomotti.it*

La terza tipologia in analisi è caratterizzata da edifici costruiti piano per piano, i quali assumono la denominazione "platform frame", mentre solo occasionalmente, in genere in America, si utilizzano elementi di altezza pari a più piani, comunemente detti "balloon frame". Si tratta del sistema costruttivo più diffuso al mondo, grazie alle proprie caratteristiche di flessibilità ed estrema leggerezza. Le pareti e i solai sono costituiti da intelaiature di elementi di legno di piccola sezione, posti ad un interasse costante che va dai 40 ai 60 cm, sui quali vengono collegati, mediante chiodi o viti di piccolo diametro, dei pannelli di legno strutturale, generalmente compensato o OSB. Con questa tecnica si può arrivare ad un'altezza di ben quattro piani, valore ragguardevole per la categoria di riferimento. Risulta infine, di particolar interesse il fatto che il sistema deve il suo nome al metodo costruttivo, infatti, il termine "Platform Frame" può essere tradotto dall'Inglese

come “sistema intelaiato a piattaforma”, lasciando intuire come, una volta realizzate le strutture del primo solaio, queste fanno da piattaforma per realizzare i piani successivi.

STRUTTURA A BLOCCHI MASSICCI

- Figura 37: *Struttura a Blocchi Massicci - fonte: http://www.arataecobuilding.eu*

Tipico sistema costruttivo delle zone alpine e nordeuropee, le strutture a blocchi massicci sono contraddistinte da elementi lineari lignei di conifera, posti orizzontalmente e sovrapposti fra loro, sino a formare un’intera parete in legno, mentre i collegamenti sono garantiti da viti o cavicchi.

Gli elementi possono essere di due tipologie, tronchi di legno massiccio scortecciato oppure elementi squadrati, tradizionalmente le strutture dei solai di interpiano e di copertura vengono realizzate con travi e semplice tavolato, mentre la resistenza ai carichi verticali è affidata alle pareti ed agli eventuali pilastri interni. In fase progettuale, occorre particolare attenzione per quanto concerne il fenomeno del ritiro, particolarmente sensibile in direzione ortogonale rispetto alla fibratura. Questa tecnica costruttiva inoltre, consente altezze realizzative, non superiori ai due o tre piani, commercialmente è anche nota come Blockhaus, termine che deriva principalmente dalla particolare composizione “a blocchi”. Infine, seppur si tratti di un sistema costruttivo non particolarmente economico, vista la grande quantità di

materia prima adottata, l'esborso iniziale viene ripagato da un'ottima qualità costruttiva, con un aspetto esteriore di gran lunga superiore agli altri metodi costruttivi.

2.2.1 Peculiarità delle Strutture in legno

Il legno, a causa della sua composizione non omogena, si distingue in particolar modo rispetto agli altri materiali, di conseguenza le strutture realizzate con esso si comportano in modo diverso rispetto agli edifici tradizionali. E' dunque opportuno prevedere una progettazione accurata, al fine di sfruttare completamente i vantaggi che ne derivano.

Durabilità

Il legno, essendo un materiale di origine naturale, prevede in fase di progettazione una serie di accortezze ed attenzioni, volte alla salvaguardia dello stesso nel tempo. Spesso si addita a questa specie, una predisposizione al degrado da parte di funghi e insetti, se si creano le condizioni a loro favorevoli, si parla invece di danno quando sono registrate da variazioni dimensionali importanti, dovute ai cambiamenti di umidità. Se il legno non è molto sensibile alle variazioni di umidità di breve periodo, come ad esempio quelle giornaliere, con il tempo, soprattutto a causa del clima locale, si potrebbero avere dei problemi di tale natura. Di conseguenza, per evitare l'insorgere di complicazioni future, occorre operare a umidità di utilizzo, cercando fedelmente di non uscire dal range ideale di riferimento. La resistenza che il legno oppone agli agenti che causano il suo biodegradamento è chiamata durabilità naturale e dipende fondamentalmente dai trattamenti a cui il materiale è stato sottoposto, dalle condizioni ambientali nelle quali si trova ed infine dalle caratteristiche naturali dello stesso. Per classificarne al meglio le caratteristiche relative a quanto precedentemente esposto, occorre dividere le specie lignee in classi di rischio, con particolar attenzione all'ambiente ed alle condizioni di utilizzo.

Classe di utilizzo	Umidità del legno	Agenti biologici	Esempio
1 (coperto all'interno)	Sempre inferiore o al massimo = 20%	Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti)	Mobili, parquet, perlinati, ecc.
2 (coperto all'interno)	Occasionalmente > 20%	**Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti)** funghi basidiomiceti, funghi cromogeni muffe	Travature, soffitti, serramenti con adeguata copertura
3.1 (non a contatto con il terreno)	Occasionalmente > 20% Non esposto alla pioggia		Serramenti esterni, infissi esterni, rivestimenti esterni, arredo urbano, mobili da giardino.
3.2 (non a contatto con il terreno)	Frequentemente > 20% esposto alla pioggia		
4.1 (a contatto con il terreno o con acqua dolce)	Prevalentemente o permanentemente > 20%	Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti, 4.1T, 4.2T), funghi basidiomiceti, funghi cromogeni muffe funghi della carie soffice	Pali, staccionate, arredo urbano, bordi piscine, sponde fluviali, ecc
4.2 (piantato nel terreno con il terreno o immerso in acqua dolce)	Permanentemente > 20%		
5 (immerso in acqua di mare)	Permanentemente > 20%	Funghi della carie soffice organismi marini perforanti, nella parte emersa coleotteri e termiti	Pali di fondazione, pontili pali da ormeggio ecc.

- Tabella 2.2.1.1: *Classi di utilizzo in accordo alla UNI EN 335-1- fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Le cause del degrado del legno in fase d'opera, possono avere origini di varia natura e spesso sono correlate al deterioramento causato da agenti chimici, umidità ed alterazione dovuta a organismi esterni. Tuttavia, il degrado di maggior rilevanza è quello causato dall'azione di funghi e insetti, che si nutrono delle sostanze organiche di cui il legno è costituito. La normativa considera un edificio residenziale solitamente compreso nelle classi di rischio 1, 2 e 3, in cui solo occasionalmente sono presenti condizioni di umidità ottimali per lo sviluppo di funghi ed insetti. Spesso quindi, la formazione di questi ultimi è causata da infiltrazioni di umidità presenti normalmente nei tetti o sottotetti, oppure ancora nelle testate delle travi inserite nella muratura. Un'alta percentuale di umidità può provocare inoltre, insieme al rigonfiamento, fenomeni di creep, particolarmente evidenti quando un elemento ligneo viene sottoposto a sollecitazioni, unite ad importanti variazioni di umidità, andando a causare deformazioni importanti, dovute essenzialmente dallo slittamento interno delle fibre. Questo fenomeno, pur

penalizzando il comportamento strutturale generale, difficilmente porta al collasso dell'edificio.

L'unica strada percorribile, per poter far fronte a determinati problemi ed al corretto mantenimento del manufatto nel tempo, è quella relativa alla scelta della specie lignea più adatta, come ad esempio l'abete rosso, caratterizzato da un'ampia disponibilità e da dimensioni naturali molto favorevoli. La non eccelsa durabilità naturale del legno viene compensata con successivi ed appositi trattamenti e con un'accurata progettazione di particolari costruttivi. I trattamenti applicabili ad esempio, possono essere di varia natura, preventivi, curativi, con mezzi chimici, fisici e senza l'utilizzo di biocidi.

La Commissione Europea "Durability and the Construction Products Directive" ha definito "la vita utile del prodotto" come il periodo di tempo in cui le sue prestazioni si mantengono ad un livello tale da consentire ad un'opera correttamente progettata e mantenuta, di rispettare i Requisiti Essenziali, definiti dai valori minimi accettabili, senza considerarne eventuali riparazioni o sostituzioni future, delineando al tempo stesso le responsabilità del produttore, del progettista e dell'utente finale. Alla seconda figura professionale, nello specifico a tutti coloro che si occupano essenzialmente delle fasi inerenti la progettazione, corrispondono una particolare responsabilità ed attenzione, relative ad esempio alla prevenzione dell'ingresso d'acqua, così come alla formazione di condensa. E' altrettanto importante inoltre, prevedere l'areazione e il drenaggio dei particolari costruttivi, in quanto anche una comune situazione di ristagno locale d'acqua, potrebbe portare a fenomeni di degrado particolarmente dannosi, espandendo notevolmente il problema a tutta la struttura. Occorre dunque una progettazione particolarmente oculata, in linea con quattro principi fondamentali, riconducibili ad una protezione costruttiva, un drenaggio rapido ed efficace, un'adeguata ventilazione ed infine una corretta scelta della specie lignea più adatta. E' buona usanza inoltre, prevedere attorno alla testata delle travi uno spazio ventilato, in cui ad un basso livello di umidità relativa si vadano ad abbinare le condizioni di sicurezza necessarie per la progettazione con il legno, evitando di conseguenza un contatto diretto fra questo e le murature in laterizio o cementizie. Il legno posto in opera necessita di opportuni trattamenti preservanti, una progettazione di dettaglio elevata ed un ricircolo d'aria

continuo, evitando in tal modo la presenza di fenomeni di condensa ed umidità, specie considerandone un possibile contatto con il terreno.

Ad ogni modo si deve privilegiare sempre l'efficacia del sistema rispetto agli aspetti estetico-formali, senza tralasciare le questioni relative ai trattamenti di protezione preventiva, con applicazioni ripetute nel tempo, anche a cura dell'utente finale. In tal senso, è opportuno considerare che il legno, se non opportunamente mantenuto, potrebbe subire gravi ed onerosi danni, sottovalutandone i disastrosi effetti che funghi ed insetti potrebbero ad esempio arrecare. Diverso l'approccio nel caso delle termiti, ancora poco diffuse in Italia, seppur considerate le più pericolose.

Resistenza al fuoco

Il presente paragrafo, relativo alla resistenza al fuoco, si limita in prima battuta ad analizzarne oggettivamente il comportamento delle strutture in legno, tematica che verrà ripresa nello specifico successivamente, in particolar modo evidenziandone non tanto le caratteristiche, quanto le problematiche, nonché le relative ed ipotetiche soluzioni.

Il legno è un materiale che brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione con una velocità determinata, sino a giungere al punto di rottura, limite ottenibile soltanto quando anche la struttura sana si riduce a tal punto da non sopportare i carichi. Nell'acciaio ad esempio, si ottiene invece un decadimento delle prestazioni meccaniche, e perché esso possa resistere al fuoco per più di quindici minuti, è di solito indispensabile che gli elementi siano protetti con rivestimenti o particolari vernici. Per le strutture in cemento armato è invece determinante lo spessore che ricopre le armature, poiché per queste ultime sono valide le considerazioni fatte per l'acciaio.

La normativa, risulta molto precisa nella definizione e nell'esplicazione dei requisiti necessari in tal senso, tant'è vero che la resistenza al fuoco di una struttura viene definita dal D.M. Int. 30/11/83 "Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi" come "il tempo necessario, dall'inizio della sua esposizione all'incendio, perché si raggiunga una situazione di collasso, parziale o totale, della struttura". Le prestazioni richieste agli elementi costruttivi riguardano sia la

capacità di conservare la stabilità meccanica, sia la possibilità di opporsi alla propagazione del fuoco e alla trasmissione del calore. In genere la resistenza al fuoco è determinata da tre criteri fondamentali, relativi all'indice REI, ovvero stabilità al fuoco (R), tenuta al fuoco (E) e isolamento termico (I). La prima condizione fa riferimento alla stabilità al fuoco, intesa come la capacità di conservare la propria resistenza meccanica in corrispondenza di un incendio, mentre la seconda si riferisce all'attitudine di un elemento divisorio, sottoposto all'azione di un incendio, a non lasciar passare né produrre fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto. Infine, l'isolamento termico esprime la capacità dell'elemento di mantenere entro livelli prefissati la trasmissione del calore sul lato non esposto all'incendio.

La prestazione dell'elemento strutturale dipende tuttavia, non solo dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale, bensì anche dai criteri costruttivi e realizzativi della struttura, correlati inevitabilmente alle scelte progettuali effettuate.

Quando viceversa, si parla di reazione al fuoco, si intende il grado di partecipazione di un materiale combustibile durante un incendio, al quale esso viene sottoposto. Per meglio suddividere e classificare il comportamento di un materiale con il fuoco, è proposta una divisione in classi, entro la quale quelli di classe A1 non sono combustibili. Il legno e i suoi derivati ad esempio, appartengono alle classi C e D, a meno che questi non abbiano subito particolari trattamenti ignifuganti. Questi prodotti sotto forma di vernice, rendono il legno difficilmente infiammabile, ritardandone il punto di collasso, sino ad arrivare a collocare lo stesso all'interno della classe di resistenza A1.

A favore di questo materiale, in caso di incendio, vi è la bassa velocità di combustione, parametro fra l'alto influenzato da molti fattori quali la specie legnosa, la temperatura, l'umidità ed infine i trattamenti specifici a cui l'elemento può essere sottoposto. Se oltre alla presenza di ossigeno si assiste ad una combustione viva, in assenza invece, si ha il cosiddetto processo di pirolisi con una conseguente e progressiva demolizione chimica del legno, punto debole che tuttavia con una giusta progettazione ed appositi accorgimenti può esser risolto, a vantaggio

di strutture sicure quanto gli edifici tradizionali, come analizzeremo in dettaglio nei capitoli seguenti.

Resistenza sismica

Se il comportamento al fuoco da parte del legno presenta, seppur facilmente risolvibili, alcune ombre e punti deboli, esso viene considerato da molti specialisti un materiale non solo adatto, ma addirittura consigliabile per costruire in zona sismica, a patto che si ponga la dovuta attenzione nella progettazione e realizzazione dei dettagli strutturali.

Gli elementi in legno vantano infatti caratteristiche particolari come la deformabilità, la buona capacità di dissipare energia e leggerezza, che se confrontate con strutture realizzate con materiali da costruzione tradizionali, si ottengono manufatti più leggeri e sollecitazioni indotte dal sisma nettamente inferiori. I valori relativi alla resistenza a compressione del legno sono paragonabili a quelli del calcestruzzo, a differenza del quale il primo presenta una resistenza a trazione simile a quella a compressione. Se sottoposto a carichi dalla durata molto breve, quali ad esempio l'azione sismica, il legno può arrivare ad incrementare le proprie capacità di resistenza fino al 10%, mentre per quanto riguarda la deformabilità, è possibile far riferimento ad un valore pari ad 1/3 rispetto al modulo elastico del calcestruzzo. Particolare attenzione è posta inoltre dalla normativa per quanto concerne l'altezza massima impiegabile, registrando un valore superiore a non oltre i due piani fuori terra, nel caso di strutture in legno.

Nonostante gli ultimi aggiornamenti in materia legislativa e le performance del legno nettamente migliorate rispetto alle precedenti disposizioni, permangono comunque alcune fondamentali distinzioni normative fra edifici a struttura di legno ed edifici realizzati in cemento armato ed acciaio.

Il comportamento ottimale nei confronti dell'azione sismica offerto dalle pareti si propaga a tutta la struttura, specie se i giunti di collegamento sono progettati e realizzati in modo corretto. Fondamentale risulta verificare scrupolosamente che tutti i componenti delle pareti e dei solai siano adeguatamente collegati, al fine di garantire una struttura che agisca come un insieme unitario, compatto e coeso.

Altresì, una distribuzione omogenea ed equilibrata delle masse e degli elementi resistenti, caratterizza univocamente un progetto consapevole da uno non correttamente realizzato.

Tutte le prove sino ad ora effettuate sulle strutture in legno, hanno consentito di verificare l'effettivo buon comportamento di queste, soprattutto sotto l'effetto di terremoti reali. In definitiva gli edifici a struttura lignea possiedono un esemplare comportamento nei confronti degli effetti relativi al sisma, soprattutto grazie alle caratteristiche intrinseche del materiale ed alla duttilità delle unioni meccaniche.

Isolamento termico

Uno tra i numerosi motivi che dovrebbero spingere a scegliere un edificio in legno è il comfort termico che questo materiale è in grado di offrire, contribuendo notevolmente a realizzare un clima salubre all'interno dell'ambiente abitato. Questi vantaggi risultano strettamente correlati alla natura dei materiali utilizzati, ed in particolare il legno, si distingue per una bassa conduttività ed una elevata inerzia termica, caratteristiche ideali per poter ambire ad elevati standard di comfort e benessere abitativi. Per conduttività termica λ (W/mK) s'intende la capacità di un materiale di condurre calore, viceversa i materiali considerati isolanti presentano un coefficiente minore di λ= 0,1 W/mK. La trasmittanza U (W/m^{2}K), anche nota come coefficiente di trasmissione termica globale, indica invece il flusso di calore che viene ceduto dall'ambiente interno all'aria esterna, dove ad un minore valore di U corrisponde un migliore isolamento termico, con una conseguente riduzione di dispersioni termiche.

I materiali isolanti solitamente presentano un aspetto poroso o fibroso in cui spesso al loro interno è racchiusa aria immobile, un cattivo conduttore. Questi materiali sono tuttavia igroscopici e l'umidità ne diminuisce le proprietà termoisolanti, motivo per il quale fondamentale risulta prevederne una corretta protezione. Seguendo questa direzione, particolar attenzione dovrebbe essere posta per quanto riguarda i trattamenti superficiali impermeabili, i quali potrebbero ridurne le proprietà sopra enunciate. A seguire, delle tabelle con alcuni materiali e i relativi coefficienti di conduttività termica.

La capacità di un materiale di accumulare calore è definita attraverso la sua capacità termica specifica c (J/kg K), caratteristica fondamentale che contraddistingue il legno, materiale dall'ottima capacità di accumulo in relazione alla sua limitata massa.

La resistenza alla diffusione del vapore (μ) è un valore adimensionale che indica quante volte in meno un certo materiale permette il passaggio di vapore, rispetto a uno strato d'aria dello stesso spessore. Mediamente, l'attività di una famiglia tipica produce giornalmente una quantità di vapore corrispondente a circa 10 litri d'acqua, situazione tipica ed abbastanza frequente per la formazione di condensa all'interno degli elementi strutturali. Prevenire o eliminare tale pericolo potrebbe essere relativamente semplice, a patto di predisporre di una corretta progettazione, dove sia la tenuta all'aria che quella relativa al vento dell'involucro, siano garantite da appositi teli o carte impermeabili al vapore, al fine di evitare fenomeni di condensazione.

Altresì, la ventilazione delle falde di copertura e delle pareti, deve essere correttamente realizzata al fine di garantire un corretto smaltimento del vapore proveniente dall'interno e dell'acqua che s'infiltra sotto il rivestimento. L'isolamento è inoltre più efficace se applicato all'esterno perché il calore prodotto dentro la struttura rimane più a lungo all'interno e in estate ne previene l'eccessivo riscaldamento da parte del sole. Tuttavia, specie su edifici esistenti, in alcuni casi non è possibile predisporre esternamente lo strato isolante, motivo per il quale si opta per la soluzione di isolamento termico interno, che, seppur parzialmente, contribuisce a migliorare le caratteristiche termiche di edifici tecnologicamente obsoleti.

Si deve poi considerare in entrambe le soluzioni proposte, che l'isolamento progettato per il periodo invernale può non essere adatto all'estate, infatti, il calore proveniente dall'esterno può causare all'interno dei locali un clima sgradevole, in parte per le radiazioni solari, in parte per l'elevata temperatura raggiunta.

La capacità di accumulo termico delle coperture, delle pareti e delle componenti interne dell'edificio influisce inoltre fortemente sulla temperatura dei locali interni. Considerando che lo sfasamento minimo in Italia è di 8-10 ore, la capacità di

accumulo termico di un "pacchetto" di materiali deve quindi garantire uno sfasamento adeguato, ed uno spessore coerente con le prestazioni richieste, come esplicato nella tabella seguente.

Materiale	Spessore (cm)
Lana di vetro/roccia	54
Polistrirene espanso/estruso	34
Poliuretano	27
Lana di pecora	50
Sughero espanso	16
Fibra di legno	12

- Tabella 2.2.1.2: *Centimetri d'isolamento per l'esterno applicabili in diverse località Italiane, al fine di garantire una costante di sfasamento termico pari a 5 ore (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia) - fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Dall'osservazione di quest'ultima, si nota che gli spessori indicati sono cautelativamente superiori rispetto a quelli minimi richiesti per l'isolamento dal freddo, inoltre è importante osservare come tali valori, siano strettamente correlati al tipo di materiale impiegato.

Come sempre più spesso accade, negli edifici ad alta efficienza termica il controllo della ventilazione sta assumendo un'importanza rilevante, poiché ad essa è imputabile una gran quantità di energia utilizzata per il riscaldamento degli ambienti interni. In questo tipo di edifici infatti, si dovrebbe prevedere una ventilazione di tipo meccanico, per fornire un adeguato ricambio d'aria ed il recupero del calore della stessa espulsa.

Il concetto relativo ai ponti termici, presenta infine una delle maggiori minacce per il corretto funzionamento energetico di un edificio. Questi, solitamente presenti in corrispondenza delle giunzioni fra elementi isolanti o di tamponamento ed elementi strutturali, devono essere evitati o almeno limitati il maggiormente possibile, come

suggerisce la seguente tabella, relativa ai valori consigliati per alcune località italiane.

Località	T_p (°C)	d (cm)
Ancona	-2	8
Aosta	-10	10
Bari	0	7
Bologna	-5	9
Bolzano	-15	12
Cagliari	3	6
Firenze	0	7
Genova	0	7
L'Aquila	-5	9
Milano	-5	9
Napoli	2	6
Palermo	5	5
Perugia	-2	8
Potenza	-3	8
Reggio Calabria	3	6
Roma	0	7
Torino	-8	10
Trento	-12	11
Venezia	-5	9

- Tabella 2.2.1.3: *Centimetri d'isolamento necessari in inverno, con l'adozione del legno come materiale da costruzione, nelle diverse località sopra indicate (Federlegno - arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia) - fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Isolamento acustico

Passando in rassegna un'ultima fondamentale caratteristica relativa alle strutture in legno, si può concludere analizzandone gli aspetti inerenti l'isolamento acustico, la cui progettazione si effettua in base a misurazioni sperimentali e non analitiche.

Il suono è inteso come un fenomeno vibratorio che si manifesta come una variazione periodica di pressione propagandosi attraverso tutti i mezzi materiali, in particolare nell'aria. I rumori sono classificati in due categorie principali:

_ I rumori aerei, che si propagano nell'aria;

_ I rumori da impatto, che si propagano attraverso i corpi solidi, considerando che la velocità del suono varia in funzione del materiale nel quale si propaga.

Nella seguente tabella sono riportate le velocità medie del suono in alcuni materiali.

Materiale	Velocità del suono (m/s)
Aria	340
Acciaio	5100
Calcestruzzo	4000
Mattone	3000
Legno, parallelo alla fibratura	5000
Legno, perpendicolare alla fibratura	2400

- Tabella 2.2.1.4: *Velocità del suono in diversi materiali (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia) - fonte: Antoniazzi Silvia, Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele*

Tutti i materiali da costruzione risultano conduttori acustici, in particolare il legno, a causa dell'anisotropia che lo contraddistingue, presenta una più bassa velocità di propagazione in direzione perpendicolare alla fibratura, per questo motivo è considerato un buon isolante.

L'energia sonora incidente su una parete può essere assorbita, riflessa oppure trasmessa, dove soltanto nel primo caso si ha una riduzione di rumore all'interno dell'ambiente. Le pareti che dividono gli ambienti interni devono dunque essere in grado di produrre un'attenuazione del rumore, il cui potere fonoassorbente (R) è indice della qualità della parete dal punto di vista acustico.

Anche in questo caso sono molteplici i fattori dipendenti, dalla parete divisoria ai materiali di rivestimento interni agli ambienti, dal numero di strati impiegati per le pareti alle scelte costruttive. Ritornando al discorso relativo alle strutture in legno, esistono poi nuove tecnologie e materiali appositamente progettati, come ad esempio i pannelli compositi smorzanti, i sistemi di pavimentazione galleggiante e i supporti elastici per i controsoffitti.

2.3 Sostenibilità e problematiche (Focus sulle difficoltà generate dai trattamenti, collegamento 2)

2.3.1 Sostenibilità

Il legno è attualmente considerato una risorsa molto importante, soprattutto se considerato da un punto di vista economico. Oltre ad essere un materiale completamente rinnovabile, grande attenzione è posta oggi alla gestione sostenibile delle foreste di cui esso è frutto, specialmente in ambito europeo, mentre ancora più rilevante risulta la verifica della provenienza dello stesso. E' stato infatti stimato un incremento netto annuo di foreste pari all'ordine dei 645 milioni di metri cubi. L'attenzione di cui prima accennato, nei confronti di tale materiale, ebbe inizio già dagli anni '90, dove iniziarono a svilupparsi tematiche legate al concetto di certificazione forestale, con l'obbiettivo di verificare e controllare il sistema di gestione delle stesse, analizzandone la conformità rispetto a determinati requisiti ambientali, sociali ed economici. A livello europeo si rilasciano principalmente due tipi di certificati differenti: "Il Programma per il riconoscimento di schemi nazionali di Certificazione Forestale" (PEFC), originariamente sviluppato per rispondere alle nazionali esigenze dei forestieri, ed il *"Forest Stewardship Council"* (FSC), nonché il Consiglio di Gestione delle Foreste, avviato in cooperazione col WWF.

- Figura 38: *Certificazione Forestale - fonte: http://www.scierie-mervent.com*

- Figura 39: *Consiglio di Gestione Forestale - fonte: http://it.fsc.org/it*

2.3.1 Problematiche

Costruire utilizzando il legno, come mostrato nei paragrafi precedenti, è una pratica antica e frequentemente usata, malgrado la propria diffusione debba ancora espandersi del tutto, come ad esempio accade in ambito italiano. Tuttavia, se non opportunamente preservato da certi elementi come per esempio l'acqua, l'umidità o l'aria, il legno può diventare fortemente degradabile, motivo per il quale il suo impiego in edilizia non lascia spazio all'improvvisazione. E' molto importante se non fondamentale, conoscere l'essenza del legno, l'eventuale trattamento utilizzato, le dimensioni per il tasso di umidità e gli elementi metallici che vengono inseriti al suo interno.

Ad ogni modo bisogna evitare che il legno venga a contatto con l'acqua, impermeabilizzando la struttura correttamente e senza tralasciare alcun dettaglio costruttivo. Le eventuali infiltrazioni potrebbero comprometterne seriamente le prestazioni globali, senza considerare che queste, spesso hanno origine in punti molto delicati della struttura, come ad esempio all'attacco con il basamento, al livello dei solai e delle falde di copertura oppure a livello degli infissi e degli avvolgibili. E' buona norma inoltre evitare che la pioggia battente e gli schizzi di pioggia siano direttamente a contatto con la parete in legno, così come per il problema della risalita d'acqua per capillarità si consiglia la realizzazione di una barriera impermeabile. Fra i danni causati da una non così accorta progettazione, si rilevano l'alterazione delle caratteristiche del materiale, la nascita di muffe e lo scollamento dei rivestimenti, degradi spesso molto gravi perché restano invisibili per molto tempo, danneggiando tuttavia irreparabilmente la struttura al suo interno.

- Figura 40: *Fenomeni di Degrado del Legno - fonte: http://www.ingegneri.info*

Anche se affrontato precedentemente, il legno si presenta particolarmente sensibile in caso di incendio, tuttavia se opportunamente progettato e trattato, presenta l'enorme vantaggio di esser caratterizzato da una combustione lenta, senza cedimenti improvvisi, come invece accade con altri materiali. Per completezza risulta opportuno ricordare che non tutte le tipologie lignee prevedono lo stesso comportamento, a vantaggio ad esempio dei legni duri e stagionati, nettamente più performanti alle alte temperature che si possono ottenere durante una combustione.

Di seguito è presentata una sintesi delle principali problematiche, causate da fattori esterni oppure congeniti, che un materiale come il legno, specie se privato delle accortezze di cui necessita, potrebbero causarsi.

Attaccabilità da microrganismi, vegetali o animali

Per far fronte a questa prima debolezza, sono necessarie delle operazioni di protezione prima della messa in opera, come ad esempio la carbonizzazione superficiale, la spalmatura o iniezione di sostanze antisettiche, al fine di posare un materiale maggiormente protetto ed idoneo a mantenere le proprie qualità intatte nel tempo. D'altro canto, come dettagliatamente sviluppato nei capitoli successivi, occorrerà considerare l'impatto che questi trattamenti generano tanto sull'ambiente data la notevole presenza di sostanze chimico-tossiche, quanto per gli occupanti stessi dell'edificio.

Sviluppo anormale del tronco

Un'attività particolarmente evidente da parte del vento, potrebbe causare una deformazione curvilinea del tronco, problematica riscontrabile anche nel caso in cui, il midollo si presenti congenitamente doppio.

Fibre torte

Se a livello strutturale, le fibre presenti all'interno del legno non sono parallele all'asse del tronco ma seguono un andamento ad elica, la resistenza del materiale può esser fortemente compromessa.

Nodi

Discorso a parte meritano i nodi del legno, considerati fra i difetti più comuni di questo materiale. Questi sono un prolungamento di un ramo, sia esso giovane, morto o spezzato, inoltre costituiscono la parte più debole del legno, influendo sulla resistenza alla rottura, sulla deformabilità, sulla facilità di lavorazione ed infine sulla tendenza alla formazione di fessure.

- Figura 41: *Venature del Legno - fonte: http://it.fotolia.com*

Tali difetti in genere riducono la qualità del legname e ne abbassano il valore, specie se utilizzato come materiale strutturale, dove le caratteristiche di resistenza risultano determinanti. L'influenza dei nodi su una struttura, dipende dalla loro posizione, dimensione, numero, direzione delle fibre e consistenza, ma solamente i difetti più importanti possono incidere sull' elasticità del materiale. Tuttavia, nel caso di particolari applicazioni, come ad esempio nei pannelli a vista, la presenza dei nodi ha un'influenza positiva, donando al legno un aspetto estetico variegato ed

interessante, caratterizzandolo e distinguendolo da qualsiasi altro materiale presente.

Cipollature

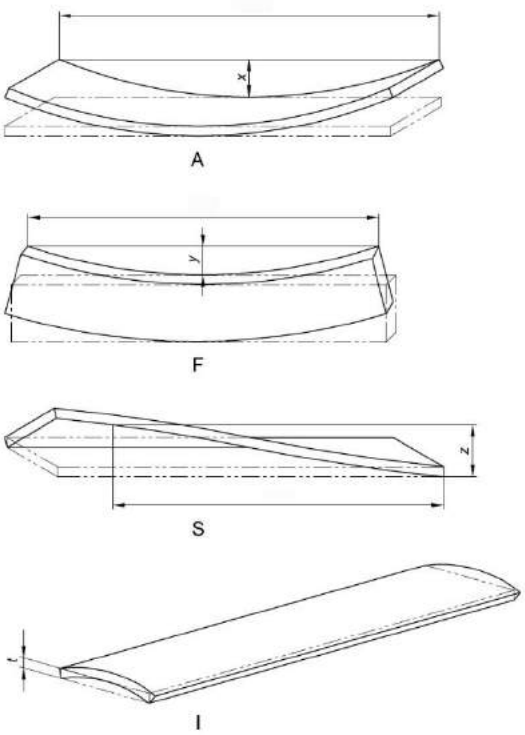
Questo fenomeno è causato dal distacco totale o parziale di due anelli annuali consecutivi di accrescimento, causando una mancanza all'interno del materiale, con ripercussioni più o meno gravi sulle performance generali.

Doppio alburno o Lunatura

Il doppio alburno, anche riconducibile al fenomeno della lunatura, è causato dall'interposizione tra anelli sani di un anello morto.

Deformazioni (imbarcamento e ritiro)

L'argomento inerente gli aspetti relativi alla deformazione del legno, è meritevole senza dubbio di un approfondimento, suddividendo essenzialmente tali distorsioni in imbarcamento e ritiro.



- Figura 42: *Imbarcamento e Ritiro del Legno - fonte: http://www.ingegneri.info*

Quest'ultimo, è un fenomeno inevitabile dovuto alla perdita d'acqua contenuta nell'albero in vita, reso evidente dal momento in cui l'umidità del legno scende al di sotto del valore corrispondente al 30% del suo peso secco. In linea generale le essenze dure o pesanti si ritirano maggiormente di quelle tenere o leggere, con evidenti ripercussioni sulla forma dei pezzi essiccati, mentre l'intensità delle contrazioni varia a seconda delle specie legnose e a seconda delle direzioni anatomiche del legno. L'imbarcamento invece costituisce la causa dei maggiori inconvenienti relativi all'impiego del legno, così come per il ritiro, con cui esso è strettamente correlato. Esso è dovuto alla notevole diversità di valori che esiste tra il ritiro tangenziale e quello radiale, dove il primo tipo presenta valori quasi maggiori del doppio rispetto al secondo, mentre il ritiro longitudinale è da considerarsi pressoché nullo.

Riassumendo quanto sopra osservato, i limiti maggiormente rilevanti del legno sono legati alla sua biodegradabilità, poiché contiene cellulosa e altre sostanze che possono essere attaccate da batteri, funghi e insetti. Per avere la certezza che ciò non avvenga, si attuano misure di protezione e prevenzione, quali ad esempio l'impregnazione con dei comuni prodotti a base di sali di boro o permetrina ed una progettazione accurata. Nello specifico, la durabilità naturale del legno è spesso incrementata con dei trattamenti di varia entità, da quelli preventivi a quelli curativi, con mezzi chimici, fisici, oppure senza l'utilizzo di biocidi. Il trattamento con mezzi chimici indica l'utilizzo sostanze artificiali applicate con differenti metodologie, oggetto di approfondimento nelle sezioni successive. Essi possono essere inoltre di tipo preventivo o curativo, determinando un'azione protettiva la cui durata nel tempo dipende dalla sostanza usata, dalle modalità di applicazione e naturalmente dalla condizione d'uso dell'elemento. L'applicazione può avvenire a pressione o senza, assicurando nel primo caso una buona penetrazione del preservante, eseguita di norma in autoclave su elementi che andranno utilizzati in classi di rischio elevate. I trattamenti senza pressione comprendono invece un trattamento ad immersione, a spruzzo, oppure a pannello. Nel caso dell'adozione di mezzi fisici come ad esempio mediante il calore, le microonde, le atmosfere modificate e controllate o le radiazioni, si può considerare anche in questo caso una duplice finalità, sia essa

curativa o preventiva, con la grande differenza tuttavia che in questo caso specifico, la durata non equivale alla longevità dei trattamenti di natura chimica.

- Figura 43: *I Trattamenti del Legno - fonte: http://www.ingenio-web.it*

In definitiva a qualsiasi trattamento, in particolar modo se di natura chimica, si scelga di sottoporre il legno in fase progettuale, occorre tener conto di quanto quest'ultimo mantenga intatte le proprie caratteristiche inerenti la sostenibilità ambientale. Spesso infatti, i trattamenti, se da un lato migliorano le performance globali del materiale, dall'altro ne modificano in qualche modo la naturalezza iniziale, causando con il tempo il rilascio di sostanze, seppur differenti, come si potrà osservare percorrendo il capitolo successivo, tutte potenzialmente nocive, con conseguenti disagi a livello sia di comfort, salute e benessere dell'ambiente abitativo, che in fase di futura dismissione del materiale, in quanto colle e vernici rendono spesso il materiale non riutilizzabile dopo il proprio ciclo di vita. La scommessa su cui molti professionisti dedicano gran parte delle loro ricerche, consiste dunque nel trovare il giusto equilibrio fra le performance e la durabilità del materiale, mantenendo al tempo stesso intatte le proprie ed innate qualità a livello di sostenibilità ambientale. I prossimi capitoli saranno pensati nell'ottica di perseguire tale direzione, entrando nel merito delle specificità legate ai trattamenti, e a quali fra questi, possano essere considerati impiegabili per un compromesso ottimale, ricerca che avrà come esito finale, l'esposizione di un caso studio specifico, inteso come soluzione al problema pratico e tangibile, frutto delle ricerche ed approfondimenti svolti durante il presente percorso.

Capitolo 3 – La durabilità legata ai trattamenti del legno come minaccia del benessere abitativo?

- 3.1 Accorgimenti progettuali da adottare nel caso dell'utilizzo del legno come materiale da costruzione, dall'ottica di futuri reimpieghi, sino ai particolari costruttivi

- 3.2 L'indoor Air Quality come parte integrante del benessere e del comfort abitativo interno

- 3.3 La ricerca dell'equilibrio progettuale intesa come il rapporto fra sostenibilità, durabilità e qualità applicate al mondo del legno

- 3.4 La preservazione del legno mediante la ricerca selettiva dei Trattamenti da applicare, al fine di garantire l'equilibrio progettuale necessario per un corretto utilizzo del materiale (Focus della Tesi, una soluzione di qualità a quanto detto, collegamento 3)

3.4.1 La normativa relativa ai trattamenti da impiegare nel caso di progettazione con il legno

3.4.2 La durabilità e le misure di protezione del legno in rapporto ai trattamenti a cui esso è sottoposto

3.4.3 Trattamenti specifici per applicazioni in legno di qualità

3.1 Accorgimenti progettuali da adottare nel caso dell'utilizzo del legno come materiale da costruzione, dall'ottica di futuri reimpieghi, sino ai particolari costruttivi

Il penultimo capitolo, si propone con l'obbiettivo di andare a delineare gli aspetti relativi ai trattamenti del legno, specialmente se considerati in rapporto all'impatto che questi possono generare sull'uomo e sull'ambiente circostante. Come presentato in chiusura nel precedente capitolo, la sfida al quale oggi ci si sottopone, consiste nel rilevare il corretto equilibrio fra la durabilità e la sostenibilità del materiale stesso.

Se in prima battuta risulta dunque opportuno riconsiderare tutte quelle lavorazioni e materiali non tossici, sia per quanto riguarda l'integrità del pianeta che per quel che concerne la salute dei cittadini, siano essi semplici fruitori o lavoratori, nello specifico caso relativo al manufatto edilizio, è fondamentale accertarsi che esso sia costituito da materiali omogenei, facilmente separabili in fase di manutenzione, trasformazione, smontaggio, demolizione, smaltimento ed infine riciclaggio. La tradizione costruttiva europea considera ogni edificio come l'unione di più parti chimicamente inerti (come la pietra, i mattoni o il legno) talvolta separabili, talvolta di difficile separazione. Mentre nel primo caso risultano relativamente immediate le fasi di riciclo del prodotto, nell'ultimo, spesso ci si trova ad operare con prodotti non riutilizzabili, fonte di scarti, rifiuti incoerenti frutto di manipolazioni avvenute nel corso del ciclo di vita del manufatto edilizio. In quest'ultimo mezzo secolo in particolare, le nuove tecniche, gli impianti e i nuovi materiali introdotti, in particolare quelli di natura chimica (vernici, additivi, isolanti, impermeabilizzanti, guarnizioni, rivestimenti) si sono insediati irrevocabilmente all'interno del settore edilizio, andando a generare insalubrità e compromettendo inevitabilmente gli aspetti relativi alla cosiddetta *indoor air quality.* Le conseguenze di tale tendenza, possono colpire aree tematiche molto differenti fra loro, a partire dai cantieri, i quali hanno registrato negli ultimi tempi, livelli di rumorosità ed inquinamento considerevoli. Per poter secernere le buone pratiche progettuali da quelle per così dire, meno attente, occorre porre particolare attenzione nel ricorso ad uno "stile" costruttivo capace di disporre di criteri e indicatori che permettano di valutare il maggiore o minore impatto che sarà prodotto dalla dismissione dell'oggetto

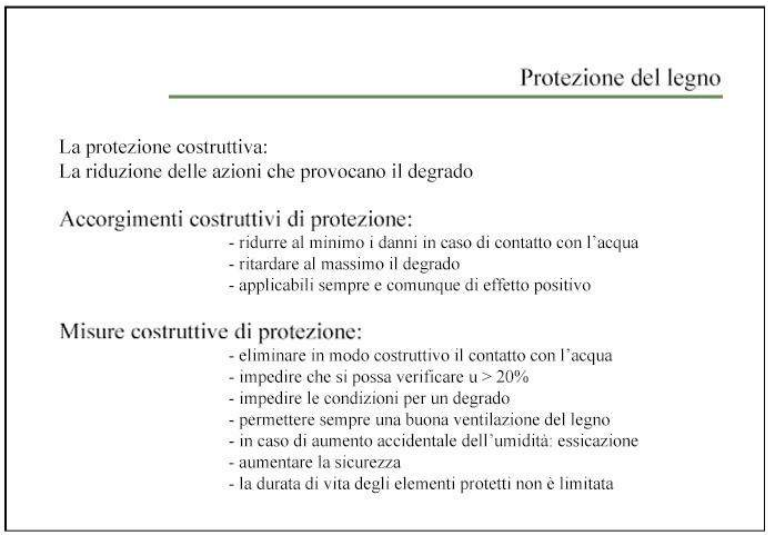
progettato, correggendo le scelte progettuali in modo da eliminare o quantomeno mitigare tali impatti. Oggi, più che nel passato, la durata è uno degli elementi di base della concezione del progetto (la sua vita probabile, le sue alterazioni nel corso degli anni ed il destino delle sue parti al momento della dismissione). Ogni edificio, come già avviene per le macchine, al termine del proprio ciclo di vita, presuppone problemi di smaltimento, di eliminazione dei residui, talvolta di riutilizzazione delle parti, e quanto più breve è la vita di un oggetto, tanto più si apre un problema di materiali che diventano rifiuto. Pensare di accorciare il periodo di vita utile di un edificio, o pensare di manipolarlo, significa aprire un problema di gestione delle sue macerie, o progettarlo in modo che queste macerie siano poche, o ancora che siano composte da parti integre o omogenee, in modo da poter essere riutilizzate o riciclate al meglio. Riassumendo, l'obbiettivo al quale si vuol giungere, dovrebbe esser incentrato attorno ai tre requisiti qui di seguito individuati come fondamentali, accomunati da un procedimento costruttivo basato laddove possibile, su elementi tecnici concepiti e realizzati su strati sovrapposti, assemblati con connettori meccanici reversibili, e quindi facilmente de-costruibili.

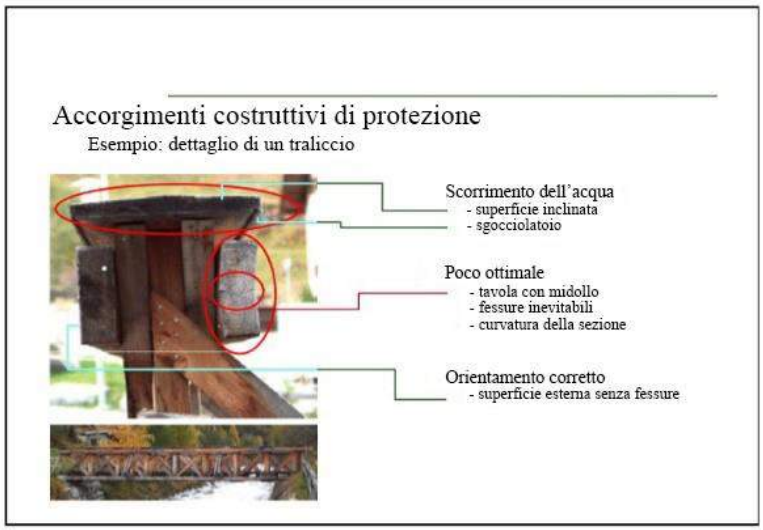
• Accessibilità: si parla di accessibilità quando è posta di norma, particolare attenzione alle operazioni alle quali un elemento architettonico potrà essere sottoposto durante o alla fine del ciclo di vita. Ciò comporta l'esigenza di dedicare una buona parte del tempo alla valutazione o previsione delle modalità di connessione di ciascun elemento tecnico rispetto a quelli ad esso contigui.

• Smontabilità: questo secondo ma fondamentale requisito, consiste nell'ipotizzare che ogni elemento possa essere pensato e fabbricato in modo da facilitarne lo smontaggio ai fini del recupero, smaltimento o ricollocazione. Essenziale risulta a tal proposito, l'individuazione preventiva degli elementi tecnici che più probabilmente saranno oggetto di manipolazione durante il ciclo di vita.

• Recuperabilità: con il presente requisito si presume che ogni elemento tecnico, al termine del proprio ciclo di vita possa essere agevolmente riutilizzato, sia del tutto che solo in parte.

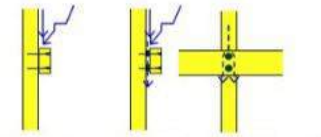
Di seguito, verranno presentate le principali tecniche di progettazione di dettaglio costruttivo, appositamente pensate per un impiego ottimale degli elementi costruttivi in legno, al fine di ottenere un progetto consapevole e dall'elevata qualità realizzativa. L'obbiettivo principale di tale esemplificazione consiste nel sensibilizzare i progettisti o gli addetti ai lavori, e di interpretare le casistiche maggiormente frequenti, così da generare un comune senso di consapevolezza nei confronti di questo particolare materiale, le cui performance sono strettamente correlate alla precisione ed accuratezza esecutive. Di seguito sono proposte alcune soluzioni progettuali ed esempi pratici realmente applicabili, volti alla protezione ed ottimizzazione del progetto in fase di realizzazione.





Accorgimenti costruttivi di protezione

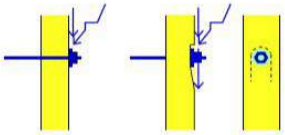
Esempio: giunti con contatto fra due elementi



Scorrimento dell'acqua
- superficie di contatto minima
- introduzione di distanziatori
- deflusso interrotto

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio: giunti con contatto fra due elemti



Scorrimento dell'acqua
- superficie di contatto minima
- introduzione di distanziatori
- deflusso interrotto

Progetto curato
- lavorazione più complessa
- effetto positivo sulla durabilità

Accorgimenti costruttivi di protezione

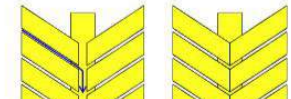
Esempio: giunti con contatto fra due elementi

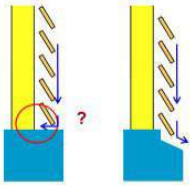
Scorrimento dell'acqua
- superficie di contatto minima
- introduzione di distanziatori
- deflusso ininterrotto

Progetto curato
- lavorazione più complessa
- effetto positivo sulla durabilità

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio: deflusso dell'acqua possibile



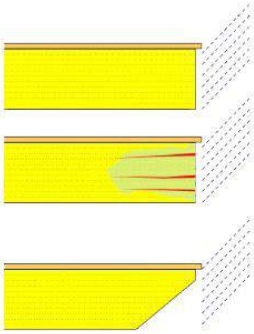


Scorrimento dell'acqua
- superficie di contatto minima
- deflusso ininterrotto

Progetto curato
- lavorazione più complessa
- effetto positivo sulla durabilità

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio: la testa delle travi



Dettaglio molto sensibile
- assorbimento rapido
- fessurazione rapida e profonda

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio:
come non si dovrebbe fare

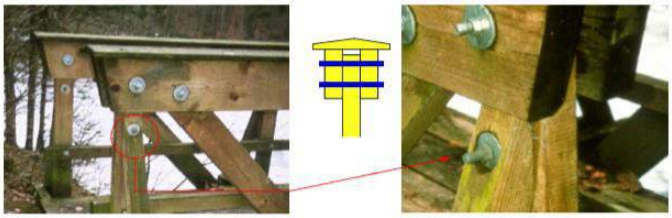
Contatto con il terreno
- manutenzione
- progetto

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio: come non si dovrebbe fare...

Accorgimenti costruttivi di protezione

Esempio: come non si dovrebbe fare...



Misure costruttive di protezione

Esempio: protezione parziale

Misure costruttive di protezione

Esempio: protezione parziale

- travi direttamente esposte alle intemperie
- protezione parziale delle travi
- il " tetto" di metallo è una buona idea
  - provvedimento protettivo parziale
  - testa delle travi non protetta
  - fessurazione rapida

Misure costruttive di protezione

Esempio: protezione parziale

- travi direttamente esposte alle intemperie
- protezione parziale delle travi
- il "tetto" di metallo è una buona idea
- degrado non impedito

Misure costruttive di protezione

Esempio: protezione parziale

- travi direttamente esposte alle intemperie
- protezione parziale delle travi
- il "tetto" di metallo è una buona idea
- degrado non impedito
- sostituzione degli elementi esterni facile e possibile

Misure costruttive di protezione

Esempio: protezione parziale

- impalcato di larice, senza alcun trattamento
- montanti di larice, trattamento della superficie "estetico"
- dettagli costruttivi accurati
- degrado non impedito
- sostituzione degli elementi più esposti possibile

Misure costruttive di protezione

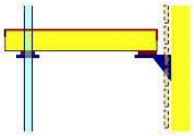
Esempio scelto: la teoria...in pratica

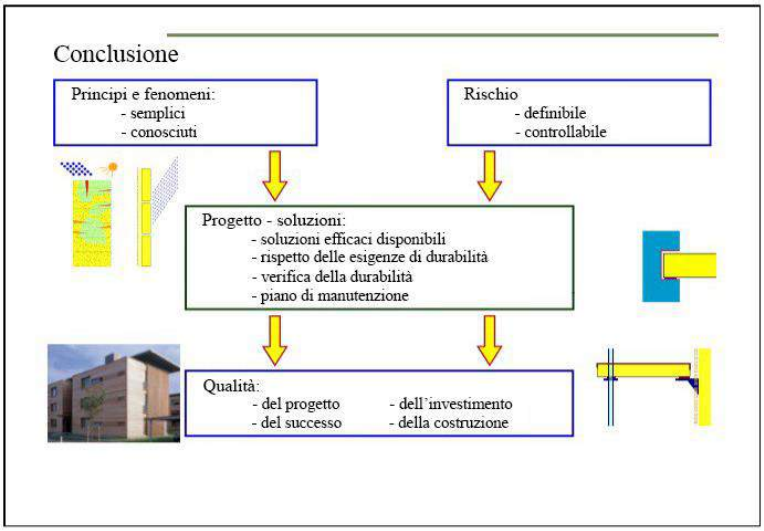
- forse si poteva fare meglio

Misure costruttive di protezione

Esempio scelto: la teoria... in pratica

- un progetto pulito
- balconi
  - non completamente protetti
  - materiale visibile
  - separato dalla struttura
  - sostituibile se necessario





- Figura 44: *Soluzioni progettuali per la protezione del legno ed ottimizzazione in fase di realizzazione - fonte: Bernasconi Andrea, L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno, promolegno*

3.2 L'indoor Air Quality come parte integrante del benessere e del comfort abitativo interno

Discorso a parte merita invece quel che concerne l'*indoor air quality*, (IAQ) precedentemente solo accennata. Questa tematica, specie negli ultimi tempi, sta assumendo particolare rilevanza, dovuta soprattutto al fatto che essa sia strettamente correlata agli aspetti relativi alla salute ed al benessere dell'uomo, fruitore ed utente finale, al quale dovrebbe esser destinato ogni manufatto edilizio che si rispetti. Il legno a tal proposito, come presentato nelle sezioni precedenti, garantisce ottime prestazioni in termini di comfort abitativo interno, con valori caratteristici anche superiori rispetto ai materiali, per così dire tradizionali. Se in una prima fase occorre destinare particolare attenzione per quanto riguarda gli aspetti relativi ad un corretto montaggio, al fine di prevederne un reimpiego futuro, in seconda battuta risulta necessario approfondirne i vantaggi relativi alla qualità dell'aria all'interno dell'edificio che un materiale come il legno, è in grado di offrire. La chiave di svolta per poterne apprezzare tali vantaggi, consiste nell'intervenire efficacemente sui dispositivi di climatizzazione, sui ricambi dell'aria e sulla scelta di materiali non inquinanti, riducendo al minimo se non azzerando del tutto, l'emissione di fibre, di composti organici volatili e di microrganismi. Molto importante risulta infatti ottenere il pieno controllo di tali condizioni, dato che la maggior parte del nostro tempo viene trascorsa in spazi chiusi, decisamente inclini a quel che concerne il termine *Sick Building Syndrome (SBS). Tale accezione fa riferimento all'insieme di tutte quelle patologie* correlate ad una non corretta qualità abitativa, molte delle quali si manifestano in mal di testa, astenia, sintomi irritativi delle vie respiratorie, degli occhi e della cute, semplicemente risolvibili con l'allontanamento dall'edificio in questione. In secondo luogo, l'ambiente interno di un edificio potrebbe altresì causare problematiche ben più gravi, non risolvibili semplicemente mediante l'allontanamento dallo stesso. In tale direzione persegue il concetto relativo alla *Building Related Illness (BRI), fonte di quadri* patologici specifici, fortunatamente appartenenti ad una quota limitata degli occupanti di un determinato edificio, i cui effetti sono considerati soprattutto a carico dell'apparato respiratorio e

cardiovascolare, della cute, delle mucose esposte e del sistema nervoso ed immunologico.

La soluzione di tali problematiche, è spesso data dall'individuazione delle principali cause che conducono alle sopra indicate patologie, rendendo lo spazio architettonico tanto ostile quanto pericoloso per chi vi abita. Alla base vi è senza dubbio un'igiene poco curata degli spazi seguita da locali sovraffollati, tuttavia è a priori che occorre intervenire, nello specifico durante le fasi di progettazione ed installazione degli impianti, durante le quali la responsabilità massima ricade sull'Architetto o il Progettista, specie considerandone il rigoroso ricorso al Decreto Legislativo D.Lgs 81/08, al quale fanno riferimento tutte le pratiche relative alla sanificazione degli elementi deputati al trattamento aria.

Per meglio comprendere i potenziali pericoli a cui ci si potrebbe esporre in ambienti chiusi, occorre porre un confronto con l'ambiente esterno, il quale, a dispetto di quanto si potrebbe pensare, presenta una probabilità nettamente inferiore di includere elementi che possano mettere a rischio la salute dell'uomo, nello specifico:

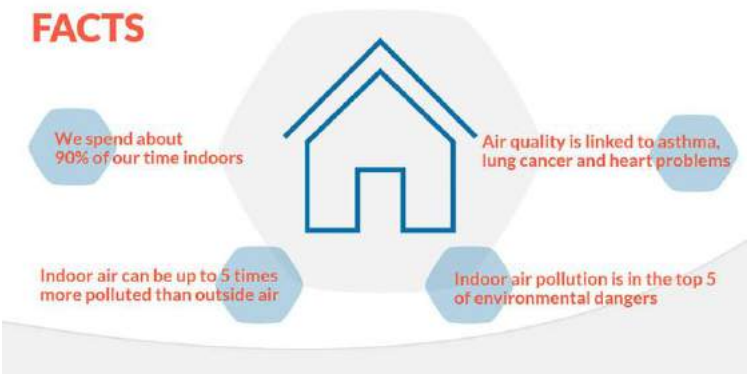
1. Gli inquinanti esterni sono spesso intrappolati, con conseguente accumulo degli stessi ed impossibilità di diffusione;

2. Vi sono numerosi inquinanti specifici degli spazi interni delle abitazioni, non presenti all'esterno delle stesse;

3. Le varie attività umane come la cottura dei cibi piuttosto che la pulizia della casa, contribuiscono notevolmente ad innalzare la quota emissiva globale, non paragonabile ad alcuna attività svolta all' esterno.

Malgrado la crescente attenzione e sensibilizzazione nei confronti di tale tematica, ancora oggi in Italia manca, ad eccezion fatta per sostanze come il radon e l'amianto, una legislazione organica di riferimento, volta a limitare, se non a condannare componenti inquinanti particolarmente dannose come ad esempio il

fumo passivo. D'altro canto, si sono registrate crescite sensibilmente sostanziose per quel che concerne la consapevolezza delle problematiche relative alla qualità dell'aria indoor.



- Figura 45: *Schematizzazione sulle principali caratteristiche dell'aria interna proprie di qualsiasi edificio abitabile - fonte: http://www.globalheatingairconditioning.com/blog/indoor-air-pollution*

Rimanendo nell'ottica di perseguire l'obbiettivo della presente Tesi, ponendo particolar attenzione a non tralasciare mai le ragioni per le quali la stessa è stata redatta, occorre illustrare e guidare passo dopo passo il lettore al fine di condurlo verso le scelte più appropriate, specie se abbinate all'utilizzo del legno come materiale da costruzione, nell'ottica di perseguire un progetto di qualità, bilanciato e consapevole. A tale proposito ne consegue l'illustrazione e la presentazione dei principali inquinanti indoor, uniti ad una selezione di semplici regole da seguire volte a migliorare la vita all'interno di spazi che vanno dall'abitazione privata sino agli uffici, alle scuole e ai luoghi di lavoro. I principali inquinanti indoor con i quali veniamo ogni giorno a contatto possono essere di tipo chimico-fisico oppure biologico, le cui specificità verranno presentate di seguito.

Principali inquinanti chimico-fisici:

- gas di combustione (NOx, SO_2, CO_2), provenienti tanto dall'esterno, quanto generati internamente;

- particolato atmosferico aerodisperso, proveniente sia dall'esterno, che generato internamente, inclusa la polvere domestica e le particelle secondarie che si formano dai precursori gassosi (COV);

- composti organici volatili COV (inclusi la formaldeide e le sostanze presenti nei prodotti per la pulizia della casa);

- idrocarburi policiclici aromatici (IPA);

- fumo passivo da combustione di tabacco;

- radon.

Inquinanti biologici:

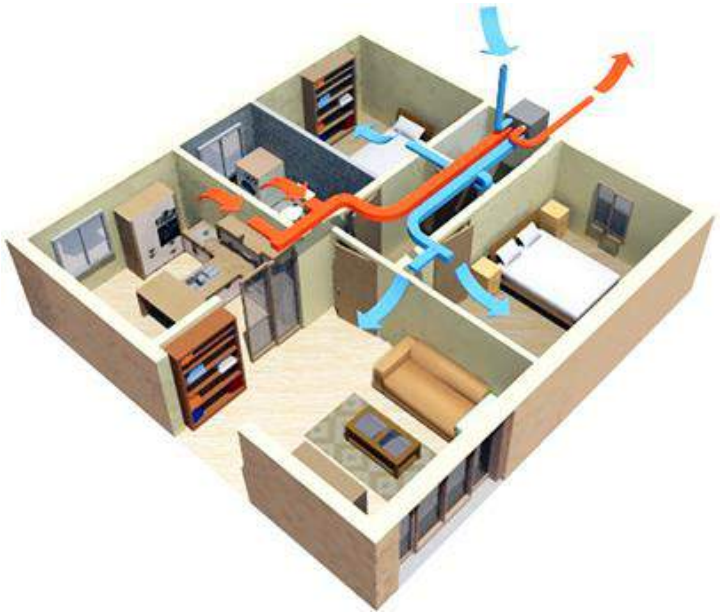
- batteri, virus, pollini e acari;

- residui biologici;

- composti allergenici.

L'inquinamento dell'aria indoor da parte degli agenti chimico-fisici e biologici precedentemente osservati, come già accennato sono in grado di procurare gravi danni alla salute di chi vi abita, con conseguenze talvolta disastrose. Gli agenti biologici inquinanti negli spazi indoor sono ad esempio molto eterogenei, dalle

spore delle piante ai batteri, dai funghi alle alghe sino ad arrivare ad alcuni protozoi. Come mostrato nel paragrafo 3.1, spesso la presenza di questi è ricollegabile ad un eccesso di umidità e ad una ventilazione inadeguata. Quest'ultima in particolare, contribuisce alla riduzione della concentrazione degli inquinanti, siano essi chimici piuttosto che di tipo biologico, permettendo al tempo stesso un continuo monitoraggio della temperatura e dell'umidità interne agli edifici posti in esame. A dimostrazione di quanto presentato, risultano infatti numerosi gli studi che hanno individuato una stretta relazione fra la ventilazione - sia essa indotta meccanicamente piuttosto che naturale - delle case e le condizioni di salute delle persone che vi abitano, andando ad implementare sempre di più, il particolare rapporto simbiotico fra uomo e ambiente circostante.



- Figura 46: *Rappresentazione assonometrica schematizzante l'apporto della ventilazione meccanica all'interno di un edificio residenziale - fonte: http:// www.miniwatt.it/293-ventilazione-meccanica-edifici-energeticamente-efficienti*

3.3 La ricerca dell'equilibrio progettuale intesa come il rapporto fra sostenibilità, durabilità e qualità applicate al mondo del legno

Prima di passare in rassegna le principali tecniche di conservazione e trattamenti relativi al legno, occorre richiamare seppur in parte, gli aspetti relativi agli impatti ambientali, tematica strettamente correlata ad una progettazione attenta e preventiva, specie considerando il rapporto fra durabilità, sostenibilità e comfort abitativo. Il bilanciamento di queste prerogative, fondamentali per un corretto impiego del legno all'interno di un contesto progettualmente efficace, non sempre risulta immediato e perfettamente adottabile. Il legno, come presentato antecedentemente, necessita di particolari attenzioni progettuali e specifici trattamenti al fine di preservarne la propria durabilità, tuttavia il rovescio della medaglia, al quale spesso non si dedica la corretta attenzione, consiste nel fatto che soventemente tali trattamenti, vanno a compromettere irreparabilmente l'impatto ambientale, la sostenibilità stessa del materiale ed il livello di comfort abitativo interno che esso potrebbe invece garantire, in quanto spesso, colle o vernici protettive contengono sostanze chimiche nocive, pericolose tanto per la salute dell'uomo, quanto per l'integrità del pianeta. Un corretto approccio a questo materiale, dovrebbe dunque considerarne tali aspetti, e solo successivamente, si potrebbe pensare di inserire il legno all'interno di un piano progettuale ben definito, attento ed equilibrato. Secondo le ultime ricerche, è possibile dunque, selezionare fra i molti trattamenti attualmente disponibili, soltanto quelli privi di sostanze tossiche, che alla funzione principale di conservazione del materiale, abbinino un'attenzione particolare al benessere dell'uomo ed all'integrità dell'ambiente circostante.

3.4 La preservazione del legno mediante la ricerca selettiva dei Trattamenti da applicare, al fine di garantire l'equilibrio progettuale necessario per un corretto utilizzo del materiale (Focus della Tesi, una soluzione di qualità a quanto detto, collegamento 3)

3.4.1 La normativa relativa ai trattamenti da impiegare nel caso di progettazione con il legno

Il Comitato Europeo di Normazione (CEN), ha messo a punto diversi documenti, successivamente presentati a livello nazionale dall'UNI e in particolare dalle NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni), fondamentali per qualsiasi progettista che voglia approcciarsi al mondo delle strutture in legno. A livello nazionale sono riconosciute in particolar modo le norme EN 350-2:1996 (Marzo 1996) - "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa", ed EN 335:2013 (Aprile 2013) - "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno". All'interno di quanto espressamente dichiarato dalle stesse, il legno e i materiali lignei devono avere una durabilità naturale adeguata alla specifica classe di utilizzo, o in alternativa devono essere sottoposti ad appositi trattamenti al fine di preservarne le caratteristiche naturali, scelti in conformità alle direttive EN 351-1 ed EN 460. Secondo gli ultimi aggiornamenti delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, in relazione alla classe di servizio della struttura e alle condizioni di carico, dovrà essere predisposto in sede progettuale un programma delle operazioni di manutenzione e di controllo da effettuarsi durante l'esercizio della struttura, al fine di preservarne le caratteristiche prestazionali e strutturali richieste.

3.4.2 La durabilità e le misure di protezione del legno in rapporto ai trattamenti a cui esso è sottoposto

La durabilità del legno, tema trattato precedentemente, nello specifico è da considerarsi correlata ai trattamenti ed alle misure di protezione da adottare al fine di una corretta progettazione, specie valutandone le performance nel tempo.

- Figura 47: *Sarcofago di Butehamon in legno decorato (1076-722 a.C.) (museo egizio di Torino) - fonte: Caputo Gennaro, Il degrado delle Strutture in Legno, rel. Venturi Luca*

Spesso a tal proposito occorre distinguere la durabilità naturale da quella conferita; se nel primo caso si fa riferimento ad una proprietà intrinseca del materiale, dovuta alla presenza di estratti nel durame in grado di proteggere il materiale dagli attacchi biotici, nel secondo caso il protagonista diventa l'uomo, che mediante l'applicazione di appositi trattamenti preservanti, prolunga la durata dell'elemento ligneo. Ad influire in particolar modo sulla durabilità, contribuiscono tanto le condizioni di servizio quanto le caratteristiche del manufatto stesso, tuttavia è possibile ottenere enormi benefici con piccoli accorgimenti. In fase di progettazione occorre stimare non solo la classe di rischio a cui sarà sottoposto il legno, bensì adottare specifici accorgimenti ed appropriate misure di controllo, al fine di effettuare un collaudo nel pieno rispetto della normativa. Durante l'esecuzione in cantiere così come in fase di esercizio, risultano fondamentali continui monitoraggi e manutenzione frequente. La classe di durabilità ottenuta, sarà infine proporzionale all'età dell'elemento ligneo esposto e della specie legnosa con cui si deve collaborare. Nonostante le notevoli varietà di legno oggi disponibili e le loro peculiarità differenti, una delle principali misure di protezione da adottare, a

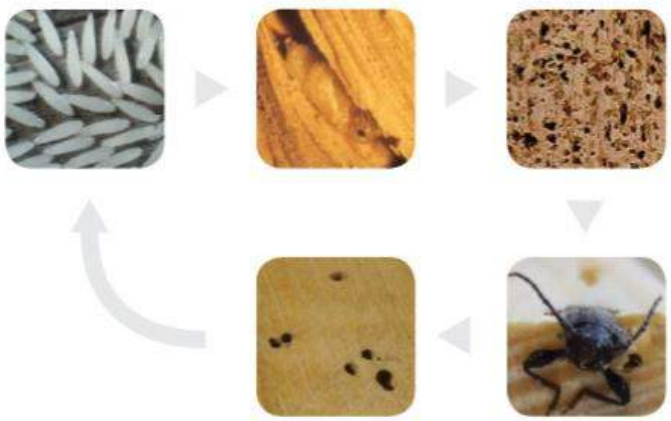
prescindere dalla specie con cui si debba esser chiamati a progettare, è il controllo dell'umidità, la quale dovrebbe esser mantenuta inferiore al 20% onde evitare la formazione di funghi. Il controllo di questo parametro, dipende soprattutto dal grado di stagionatura al momento della messa in opera, dalla prevenzione di infiltrazioni d'acqua piovana e da una progettazione ed esecuzione attente.

Occorre inoltre considerare, che non tutte le strutture presentano gli stessi parametri in termini di durabilità, come nel caso dei ponti stradali, i quali risultano spesso molto esposti al degrado, motivo per il quale la loro durabilità di conseguenza non è paragonabile a quella di altre strutture dal diverso impiego. Tuttavia, a dispetto di quanto il legno possa far trapelare, la storia delle costruzioni fa riferimento ad alcune strutture lignee che da cinque secoli risultano ancora intatte e tutt'oggi in servizio, con la struttura portante ancora originale, così come anche nel caso di strutture residenziali, si possono registrare valori molto elevati, tanto che molte strutture lignee si presentano attualmente ancora in buono stato ed ancora abitate, specie considerandone ancora la struttura originaria. Nonostante le numerose testimonianze storiche di cui prima, il legno è per natura un materiale soggetto al degrado biologico, con conseguente indebolimento e distruzione della struttura portante, tuttavia è possibile con una corretta gestione, evitare tali fenomeni. A tal proposito risulta fondamentale conoscere a fondo quali sono i meccanismi di degrado, come agiscono e in che condizioni si innescano. Talvolta, laddove risulti impossibile impedirne il degrado, occorre quantomeno ridurne gli effetti ed i successivi sviluppi. Numerose ricerche, affermano che la strada più efficace per preservare il legno nel tempo, sia quella relativa all'adozione di adeguate misure di protezione. Conoscere a fondo i principi e i metodi che regolano tali misure, risulta fondamentale, specie nei confronti dei principali "nemici" del legno, la luce, l'umidità, gli insetti e i funghi, elementi molto pericolosi per l'incolumità di tale materiale, di seguito comparati in relazione ai danni che questi provocano.

TIPO DI AGENTE	FENOMENO INDOTTO	DANNI PROVOCATI
Umidità	Variazioni dimensionali, aumento dell'attività fungina	Fessurazioni, imbarcamenti, distacco della pellicola, decadimento estetico e strutturale
Raggi UV	Azione fotolitica Azione foto-ossidante	Decadimento aspetto estetico, degrado supporto, distacco film
Funghi	Alterazioni strutturali del legno Variazioni cromatiche	Decadimento aspetto estetico, degrado supporto, distacco film

- Tabella 3.4.2.1: *Tabella relativa ai principali agenti del legno in rapporto al fenomeno indotto ed al tipo di danno che questi arrecano al materiale – fonte: Arreghini C., Trattamento del Legno, Venezia, 2018*

Anche se gli insetti non si nutrono direttamente del legno, la larva delle uova deposte, "scava" all'interno della struttura, lasciando segni irreparabili. Le spore fungine invece, causano la distruzione del materiale spargendosi ovunque al suo interno, con risultati molto invasivi, spesso non risolvibili. Le condizioni ideali perché questo non accada, sono date essenzialmente da un ambiente poco umido e dalla presenza umana, di conseguenza, colle, vernici e materiali innovativi ostacolano nettamente la loro diffusione. Due casistiche degne di nota risultano essere quelle relative alla presenza di termiti e di molluschi marini, i quali, in base alla zona geografica di pertinenza, possono produrre effetti molto pericolosi, limitabili se non evitabili del tutto, solo mediante opportune misure di prevenzione, adeguata protezione ed accurati dettagli costruttivi, che si traducono in continui monitoraggi e disinfezioni laddove opportune. Così come accade per gli insetti, anche alcune specie fungine possono arrecare gravi danni strutturali al legno, evitabili soltanto limitando il grado di umidità con un'adeguata procedura di essicazione. La pericolosità di tali organismi è data soprattutto dalla non sempre perfetta riconoscibilità del degrado, soprattutto negli stadi iniziali.



- Figura 48: *Ciclo di vita degli insetti xilofagi - fonte: http://www.amonlegno.it*

Allo stesso modo, risulterebbe particolarmente pericoloso trascurare gli effetti che la luce e l'umidità potrebbero causare nei confronti del legno. I raggi solari e in particolare la frazione ultravioletta (i raggi UV), sono tra i maggiori responsabili del degrado del materiale, essi alterano la struttura molecolare aggredendo la lignina, provocandone una variazione cromatica che porta la colorazione naturale del legno su una tonalità grigiastra. Tuttavia, per quanto rilevante, tale fenomeno conduce il legno ad un degrado di tipo meramente estetico, senza andare ad intaccare sensibilmente le performance ed il comportamento strutturale dello stesso. Discorso a parte invece, per quanto riguarda la già citata umidità, la quale è causa di problematiche ben più ampie, specie dovute al fatto che il legno è un materiale che tende ad assorbire acqua non solo allo stato liquido, ma anche a quello relativo al vapore sino a che il livello d'umidità della sua struttura cellulare non si equilibra con quella dell'ambiente in cui è collocato. Un eccessivo assorbimento d'acqua può generare infatti una variazione importante della dimensione della struttura con il conseguente formarsi di fessure, incurvamenti dei manufatti e accelerazione dell'attacco degli agenti biologici, andando a compromettere in modo irrevocabile la stabilità dimensionale del materiale. Tuttavia, il grado di tolleranza verso quest'ultima dipende dall'elemento costitutivo in esame, non sempre occorre infatti impedire del tutto una percentuale minima di deformazione, in base anche alla destinazione d'uso, è dunque ammesso un maggiore o minore grado di variazione dimensionale.

Per esempio per i serramenti si impiegano elementi in legno che abbiano già raggiunto una loro ”stabilità dimensionale”, onde evitare deformazioni successive la posa in opera dell’elemento, ricorrendo di conseguenza a speciali cicli di verniciatura che limitino l’assorbimento dell’umidita e il rigonfiamento del prodotto stesso. La tabella seguente, mostra in dettaglio il rapporto fra elemento strutturale e deformazione consentita.

- Figura 49: *Tabella riepilogativa inerente il rapporto fra elemento strutturale e deformazione massima consentita - fonte: http://amonlegno.it*

Al fine di evitare tali complicazioni, indipendentemente dal tipo di struttura ed al relativo utilizzo, la Normativa Europea di riferimento UNI EN 335 parti 1,2 e 3 associa ad una corretta progettazione un’ altrettanto approfondita conoscenza delle classi di rischio, con cui il legno deve inevitabilmente confrontarsi, specie in relazione agli effetti che esso presenta di fronte all’umidità ed agli attacchi fungini.

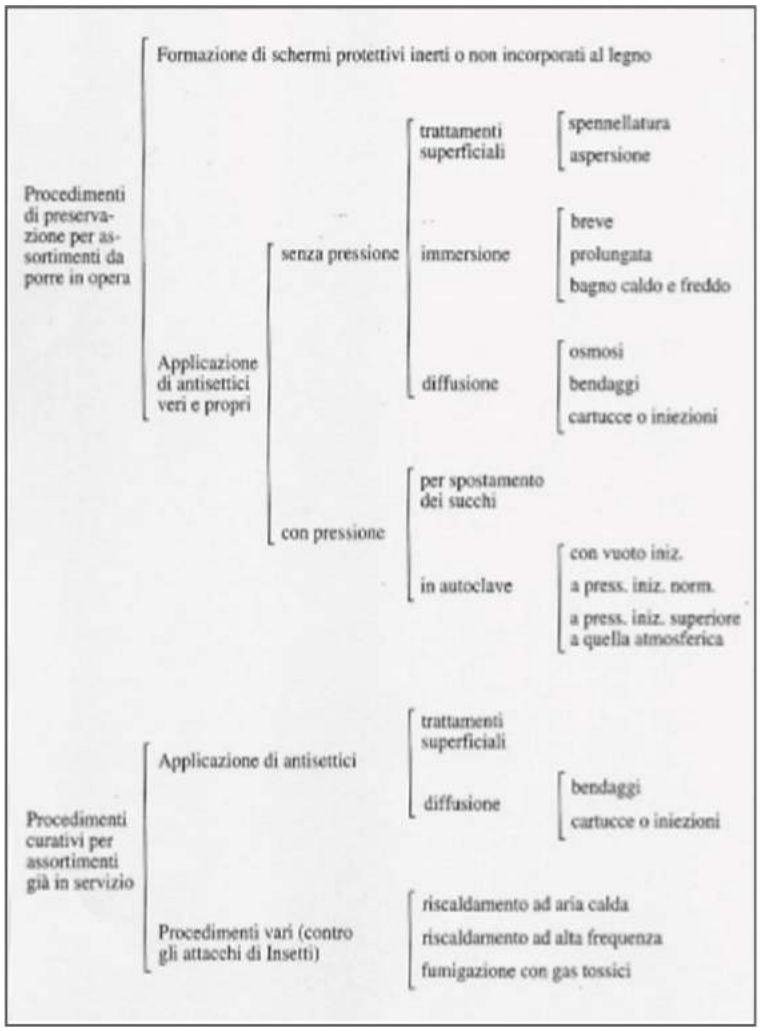
• Classe di rischio 1: La prima classe di rischio, con un livello di umidità pari al 12%, non prevede alcun sviluppo di funghi, essendo il legno in queste condizioni specifiche, completamente secco. Tale scenario, potrebbe esser ricondotto a tutti gli interni delle comuni abitazioni, o più in generale, tutti quegli ambienti dove risulta assente il rischio di umidità.

• Classe di rischio 2: Con un'umidità pari al 20%, è potenzialmente possibile il verificarsi di problematiche relative al rischio di degrado. Tuttavia, salvo sporadici casi in cui si verificano incidenti, il legno si presenta ancora sufficientemente "secco" e non necessita di particolari accortezze protettive.

• Se all'interno della Terza Classe di rischio il livello di umidità supera di gran lunga il 20%, con conseguenziali rischi per la durabilità del materiale, nella Quarta si presenta una situazione in cui il prodotto ligneo impiegato si trova in diretto contatto con il terreno o con acqua dolce ed è, pertanto, permanentemente esposto all'umidificazione. Infine, la Quinta Classe di rischio si presenta come quella maggiormente aggressiva nei confronti del materiale, le cui superfici esposte si presentano permanentemente immerse nell'acqua salata. In tali contesti, occorre predisporre di adeguate misure di protezione e prevenzione, specie nel caso delle classi di rischio maggiore, all'interno delle quali si verificano condizioni di contatto diretto con l'acqua, situazione poco comune all'interno dell'edilizia ordinaria. L'esposizione alle intemperie, tipica degli ambienti esterni, richiede particolari accorgimenti e trattamenti specifici, in caso contrario, gli effetti potrebbero causare il degrado anche degli elementi strutturali massicci, andando ad amplificare ulteriormente il problema.

3.4.3 Trattamenti specifici per applicazioni in legno di qualità

I trattamenti per il legno, come si è visto essenziali al fine di preservarne la durabilità nel tempo, si suddividono sostanzialmente in due categorie a seconda dello scopo per il quale vengono impiegati. Essi possono esser distinti in trattamenti curativi, volti a bloccare un attacco in corso mediante l'eliminazione di tutti gli organismi infestanti presenti, mentre quelli preservanti hanno lo scopo di prevenire un ipotetico attacco futuro.



- Tabella 3.4.3.1: *Tabella di inquadramento generale sulle principali tipologie di applicazioni per il legno - fonte: Faccio Paolo, Scaramuzza Paola, Costruzioni in Legno. Interventi di conservazione, Università IUAV di Venezia, 2013*

Questi ultimi sono composti da miscele di biocidi in grado di uccidere funghi ignivori e/o insetti xilofagi e sono considerati a pieno titolo dei veri e propri "presidi

medico-chirurgici", sottoposti alla regolamentazione del Ministero della Sanità. Particolare attenzione dovrebbe esser rivolta a quei trattamenti considerati maggiormente nocivi, limitandone la diffusione ed il loro utilizzo, molto pericolosi a seconda del principio attivo e delle dosi per l'operatore durante l'applicazione, specialmente se impiegati con mezzi artigianali, in quanto generano una specie di nube tossica che svanisce col tempo. A tal proposito sarebbe dunque auspicabile ricorrere ai biocidi di tipo selettivo, la cui tossicità è presente solamente nei confronti degli organismi "bersaglio" e non per le altre specie. Inoltre, peculiarità tipica della presente classe, è la breve permanenza nell'ambiente, limitando, così, danni quali l'inquinamento dell'acqua, dell'aria, del suolo ed il conseguente accumulo negli organismi esterni. L'entità dei trattamenti da impiegare, è naturalmente da considerarsi proporzionale alla classe di rischio a cui il legno è sottoposto, motivo per il quale, specie nei casi in cui esso risulti particolarmente esposto alle intemperie, vi è il rischio di rilevare la presenza di un trattamento potenzialmente dannoso, andando a compromettere irreparabilmente la sostenibilità del prodotto e la qualità del benessere abitativo, con potenziali rischi tanto per l'uomo quanto per l'ambiente circostante. A seguire una tabella riassuntiva, relativa al tipo di trattamento da impiegare in relazione alle classi di rischio a cui il materiale è esposto.

Classe di rischio	Umidità	Rischio biotico	Obbiettivo	Zona da proteggere	Intervento
1 *legno al coperto ben ventilato e non a contatto con il terreno*	Sotto al 20%	Insetti	Prevenzione	Alburno	Specie legnosa Applicaz. superf. Applicaz. profondità.
				Durame	Specie legnosa App. superficiale
			Cura	Alburno	Tratt. curativi App. profondità
				Durame	Tratt. curativi Lotta biologica
2 *legno con rischio di umidità*	Supera il 20%	Insetti	Prevenzione	Alburno	Cont. umidità legno App. profondità
				Durame	Specie legnosa Cont. umidità legno
			Cura	Alburno	App. profondità Cont. umidità legno
				Durame	Cont. umidità legno
		Funghi	Prevenzione	Alburno	Specie legnosa App. superficiale App. profondità
				Durame	Specie legnosa App. superficiale
			Cura	Alburno	App. profondità Tratt. curativi
				Durame	Tratt. curativi Lotta biologica

- Tabella 3.4.3.2: *Presentazione delle principali misure di prevenzione e cure in rapporto agli attacchi esterni al materiale - fonte*: *Caputo Gennaro, Il degrado delle Strutture in Legno, rel. Venturi Luca*

Si possono inoltre individuare alcune sottocategorie relative alla distinzione precedentemente esplicata all'interno della quale i trattamenti oltre che dalla funzione, possono esser considerati anche da un punto di vista relativo al tipo di applicazione che questi prevedono. I trattamenti di tipo superficiale avvengono infatti mediante l'utilizzo di utensili relativamente semplici e non richiedono una particolare esperienza operativa. Tra le principali tecniche troviamo le applicazioni a pennello, a spruzzo e a spazzola. Con questi metodi il legno viene rivestito da uno strato protettivo che dovrà essere ripristinato ogni volta che viene interrotto, ad esempio per lavorazioni successive o in caso e di fessurazioni da ritiro. È utilizzato

prevalentemente a scopo preventivo perché agisce solo in superficie con una profondità di azione limitata. Per il trattamento dei rivestimenti ad esempio, si utilizzano prodotti in grado di ridurre la velocità di assorbimento dell'acqua, mentre gli insetticidi e i fungicidi, dal colore più o meno trasparente, prevedono applicazioni regolari e frequenti per poter conservarne la loro efficacia, seppur incapaci di impedire l'assorbimento d'acqua. Nel caso di elementi strutturali dotati di sezioni importanti, gli effetti dei trattamenti superficiali perdono ulteriormente la loro efficacia, consentendo un'adeguata protezione soprattutto durante la fase di montaggio, in seguito alla quale non si registrano particolari aumenti della durabilità del materiale nel tempo.

- Figura 50: *Classico esempio di trattamento superficiale a pennello - fonte: Caputo Gennaro, Il degrado delle Strutture in Legno, rel. Venturi Luca*

Al primo tipo di applicazione, si aggiungono i maggiormente complessi metodi di impregnazione, come ad esempio quello in autoclave. Quest'ultimo risulta fra i metodi più utilizzati, tuttavia spesso si presentano inapplicabili nel caso di elementi già in opera, i quali necessiterebbero di iniezioni in cui il preservante viene distribuito in profondità mediante pressione. A causa della particolare conformazione strutturale del legno, nell'alburno tale applicazione risulta molto più efficace, che nel durame, dove il prodotto penetra con maggior difficoltà. Per ottenere una migliore efficacia infine, le iniezioni devono avere una distanza massima tra i fori non maggiore di una decina di centimetri, al fine di avere una distribuzione omogenea ed equilibrata della sostanza iniettata. Il rovescio della medaglia di questi trattamenti spesso è causato dal ricorso di sostanze velenose, motivo per il quale queste applicazioni son sempre più messe in discussione.

L’efficacia superiore di quest’ultime, tuttavia non va a sostituire una buona protezione costruttiva, considerando che la durabilità per quanto elevata, non sarà mai illimitata e che l’applicazione all’interno della costruzione risulta decisamente ridotta.

- Figura 51: *Trattamento in autoclave (isve produzione macchinari per trattamento legno) - fonte: Caputo Gennaro, Il degrado delle Strutture in Legno, rel. Venturi Luca*

Utile ai professionisti, tanto quanto agli addetti ai lavori, per quantificare e catalogare le diverse classi di impregnabilità, specie in relazione al tipo di essenza lignea, sono state pensate apposite tabelle, con valori ordinati e crescenti per ciascuna categoria considerata e relative descrizioni al comportamento del materiale di fronte a tale trattamento.

Classe 1: Completamente o facilmente impregnabile, i segati possono essere penetrati completamente senza difficoltà mediante trattamento a pressione.

Classe 2: Moderatamente impregnabile, normalmente non è possibile una penetrazione completa, ma con un trattamento in pressione di 2-3 ore si possono ottenere dei buoni risultati.

Classe 3: Molto difficile da impregnare, anche se con un trattamento in pressione di 3-4 ore si raggiungono profondità comprese fra i 3 e i 6 mm.

Classe 4: Non impregnabile o quasi impossibile da impregnare, scarsa quantità di preservante assorbito anche dopo una pressione per 3-4 ore.

Specie legnosa	Classe di impregnabilità	
	Alburno	Durame
Abete bianco	4	4
Abete rosso	4	4
Douglasia	2-3	3
Larice	2	3
Castagno	2	4
Faggio	1	1
Pioppo	1	2
Rovere	1	4

- Tabella 3.4.3.3: *Tabella Impregnabilità legni - fonte: Caputo Gennaro, Il degrado delle Strutture in Legno, rel. Venturi Luca*

Mentre i trattamenti preservanti svolgono il fondamentale ruolo di prevenire futuri attacchi esterni, motivo per il quale spesso la tecnica superficiale risulta più che sufficiente, quelli di tipo curativo, necessitano spesso di trattamenti ad impregnazione, assicurandosi che il prodotto iniettato raggiunga uniformemente tutte le superfici da trattare. Le gravi infestazioni di insetti xilofagi ad esempio, portano al ricorso di un'atmosfera tossica di gas velenosi come il bromuro di metile, in modo da eliminare ogni organismo presente nel legno, facendo anche attenzione alle modalità di posa in opera in quanto la maggior parte dei gas sono da considerarsi pericolosi anche per l'uomo. Un altro metodo è quello di tenere il materiale in un'atmosfera priva di ossigeno (azoto o anidride carbonica), eliminando così gli insetti per asfissia, senza ricorrere a gas tossici, anche se tuttavia, risulta difficoltoso mantenere i livelli di ossigeno bassi nel tempo.

- Figura 52: *Possibili trattamenti di tipo curativo, in alto due esempi di atmosfera priva di ossigeno, in basso a sinistra un trattamento per i tarli con microonde ed infine in basso a destra un esempio di riscaldamento focalizzato - fonte: http:// www.ipest.it_ www.novaprima.com*

Alla base dei vari trattamenti qui presentati e proposti, vi è sempre da considerare il fenomeno relativo alla stagionatura, sia essa naturale o artificiale, che contribuisce in modo sostanziale ad una corretta fruibilità del materiale. L'essiccazione è una fase fondamentale di trasformazione della materia prima in esame poiché il legno allo stato fresco, contraddistinto da un color tendente al verde, non è direttamente utilizzabile. Questo delicato processo consiste nell'eliminare parte dell'acqua contenuta nel legno fino a raggiungere la cosiddetta umidità di impiego. La stagionatura naturale risulta tuttavia molto difficile da attuare, in quanto i tempi per poter godere di un risultato completo sono relativamente lunghi. Viceversa, l'essicazione artificiale ottenuta in apposite celle, permette di raggiungere ottimi risultati già in pochi giorni, consentendo inoltre l'eliminazione di eventuali organismi xilofagi presenti, con conseguenti riduzioni sia in termini di volumi di scarto che di tempi di stoccaggio.

- Figura 53: *Essiccatoi artificiali per legno - fonte: http://www.baschild.com*

Specie negli ultimi decenni, così come per l'essicazione, tecnica di cui sopra ampiamente discusso, il legno può esser sottoposto a molteplici trattamenti, legati essenzialmente a specifiche esigenze in termini di durabilità, preservazione e cura del prodotto. Il secondo capitolo, come mostrato in precedenza, è stato redatto con il fondamentale obbiettivo di porre in rassegna le principali caratteristiche relative al legno, fra le quali, molta attenzione è stata posta per quanto concerne il rapporto che esso prevede con il fuoco, peculiarità fondamentale nel caso si voglia adottare il legno come materiale da costruzione. A tale proposito spesso si pone rimedio ricorrendo alla cosiddetta ignifugazione, trattamento volto a migliorarne la reazione al fuoco. Di fondamentale importanza risulta inoltre, evitare il contatto con l'acqua, o con tutte le sorgenti potenziale di umidità, motivo per il quale si ricorre spesso al trattamento idrorepellente per il legno, che costituisce la risposta più efficace al problema. Per ultima, seppur non meno importante, degna di nota risulta essere la tecnica relativa alla vaporizzazione del legno, la quale, spesso negli ultimi anni sta avendo particolare diffusione. Tramite l'adozione del vapore acqueo, questo trattamento è in grado di conseguire determinati effetti, dalle variazioni di colore alla lavorabilità, dal comportamento plastico sino all'asportazione di determinate sostanze.

Di seguito, è proposta una tabella riassuntiva, relativa ai principali trattamenti a cui il legno viene sottoposto.

TRATTAMENTI	DESCRIZIONE
Preservazione	Trattamento con antisettici, preventivo o curativo, atto a proteggere il legno da danni di origine biologica.
Impregnazione	Trattamento che prevede l'introduzione nel legno di sostanze atte a raggiungere il fine voluto.
Impregnazione in superficie	Trattamento che interessa gli strati più esterni del legno.
Impregnazione in profondità	Trattamento che interessa anche gli strati profondi del legno.
Impregnazione ad assorbimento forzato	Trattamento nel quale l'assorbimento avviene a seguito di modifiche delle condizioni ambientali (pressione, temperatura).
Ignifugazione	Trattamento atto a migliorare la reazione al fuoco del legno.
Trattamento idrorepellente	Trattamento atto a ridurre l'assorbimento di umidità da parte del legno.
Vaporizzazione	Trattamento con vapore acqueo atto a conseguire determinati effetti, come per esempio variazioni di colore, lavorabilità, comportamento plastico, asportazione di sostanze, ecc.
Essicazione	Trattamento, naturale o artificiale, atto a ridurre l'umidità del legno.

- Tabella 3.4.3.4: *Tabella relativa ai principali trattamenti da adottare nel caso di impiego del legno come materiale da costruzione - fonte: Faccio Paolo, Scaramuzza Paola, Costruzioni in Legno. Interventi di conservazione, Università IUAV di Venezia, 2013*

Nonostante la molteplicità e varietà di trattamenti presenti oggi sul mercato del legno, la scelta di quale adottare, non sempre si rivela semplice ed immediata. Il *core* della presente ricerca, consiste nella selezione ed individuazione di opportuni criteri di scelta, al fine di ottenere un'applicazione non solo efficace, bensì anche equilibrata e bilanciata sotto diversi punti di vista. A tale precisazione ne consegue una prima ed essenziale distinzione, andando a dividere i trattamenti temporanei da quelli permanenti. Alla prima tipologia fanno riferimento tutte le tecniche protettive di breve periodo, mentre nella seconda sono inclusi tutti quei trattamenti volti a conferire al legno una durabilità elevata, malgrado l'applicazione di questi ultimi sia opportuno ripeterla ogni due o tre anni, per assicurarsi una completa efficacia sul prodotto da trattare. In seconda battuta occorre precisare la profondità di penetrazione generata dal trattamento, in quanto per ogni opzione pattuita, corrispondono dei vantaggi e conseguentemente degli svantaggi. Optando ad

esempio per un trattamento superficiale, se da un lato si hanno costi d'applicazione ridotti, dall'altro l'efficacia e la durabilità nel tempo si rivelano basse. All'estremo opposto invece, nel caso si voglia adottare un trattamento maggiormente profondo, a costi elevati corrispondono performance durature, così come elevata risulta essere la difficoltà di impiego, specie considerando che per quest'ultima tipologia di applicazione è necessario l'autoclave, con conseguente impossibilità di esser eseguita in opera. Qualsiasi procedimento si scelga di seguire, occorre tener conto dei vari strumenti di lavoro di cui si necessita, andando ad individuare una proporzionalità diretta fra la complessità del trattamento e quella relativa agli strumenti o sostanze adottate nel processo. Di conseguenza, se un trattamento non a pressione implica l'utilizzo di un pennello, piuttosto che di un'immersione o diffusione del prodotto a spruzzo, quando entra in gioco il fattore relativo alla pressione, occorre predisporre di un apposito autoclave prevedendo più cicli di vuoto ed una penetrazione che agisca in profondità. Infine, nel caso di particolari trattamenti curativi, si ricorre spesso a metodologie complesse e maggiormente invasive come la fumigazione, gassazione, eliminazione di ossigeno o il bombardamento radioisotipo. Come per le tecniche esecutive, il delta relativo al tipo di prodotti da utilizzare è molto ampio, da quelli in solventi organici spesso poco efficaci, ai trattamenti con prodotti solubili in acqua non sempre applicabili, per poi ricorrere a quelli in forma gassosa, come ad esempio i fumiganti e sublimanti, la scelta a cui far fronte è molto ampia e in continua crescita espansiva, così come risulta in continua espansione l'attenzione rivolta nei confronti della sostenibilità ambientale che tali trattamenti sono in grado di offrire.

• **Vantaggi delle vernici ad acqua:** Igienicità e sicurezza dell'ambiente di lavoro, basso odore, ridotte emissioni gassose di S.O.V., non dà rischi di incendio, maggiore resistenza agli U.V., facilità di manutenzione, maggiore elasticità, non dà problemi di rimozione nella sovrapplicazione, non ingiallente, non dà problemi di autocombustione.

• **Vantaggi delle vernici al solvente:** minor rigonfiamento delle fibre di legno, maggiore bagnabilità del supporto, possono essere applicate a basse temperature, maggiore resistenza chimica assenza di blocking, possono essere applicate su tutte le essenze legnose.

In definitiva, dal tipo di legno con cui si opera, all'ambiente in cui si è chiamati a rispondere ed al tipo di attacco che si vuol evitare, occorre sempre considerare il preservante che ad un costo minimo preveda la massima efficacia contro gli insetti xilofagi, di natura grandi nemici del legno, senza mai dimenticare gli aspetti relativi alla tossicità, in particolare minimizzando per quanto possibile il dilavamento e la volatilità del prodotto. Nel caso di contatto con un materiale metallico inoltre, indispensabile risulta limitarne la corrosione, assicurandosi al tempo stesso che vi sia una bassa incidenza sulle caratteristiche meccaniche del legno e sulle vernici ed incollaggi, al fine di preservarne oltre che la durabilità, anche le performance strutturali tipiche del materiale non trattato. Occorre precisare in linea di massima, che a prescindere dal tipo di trattamento si voglia adottare, una buona progettazione costruttiva risulta alla base di tutte le scelte finora presentate e, nello specifico, si considera sempre valida e attuale l'assunzione secondo la quale prevenire un possibile degrado è sempre meglio che andare a porvi rimedio. Tuttavia, specie in alcuni casi, questo non sempre risulta inevitabile, motivo per il quale il rimedio consiste generalmente tanto nel sostituire la porzione danneggiata, individuando ed isolando il problema, quanto nell'andare a trattare appositamente l'area interessata, evitando ad ogni modo e in qualsiasi caso, il contatto diretto con l'acqua e con qualsiasi fonte di umidità ad essa correlata. Progettazione e prevenzione a parte dunque, fra i numerosi e moderni prodotti attualmente disponibili sul mercato occorre prediligere quelli in grado di proteggere efficacemente i supporti lignei, garantendo una protezione completa dagli insetti, dai funghi xilofagi e dai raggi ultravioletti, assecondando al tempo stesso i naturali movimenti del legno, pur rimanendo ben ancorati ad esso. Un alto potere di penetrazione all'interno delle fibre garantisce inoltre una protezione completa dello stesso anche in profondità. L'elevata impermeabilità all'acqua ed una buona diffusione al vapore risultano caratteristiche fondamentali per la preservazione del materiale, mentre, a causa del veloce degrado dei prodotti vernicianti, un facile ripristino della finitura eviterebbe interventi onerosi in termini di tempo ed economicità.

Se da un lato i sistemi coprenti si rivelano molto efficaci nella protezione del legno, andando a realizzare un vero e proprio strato resistente agli aggressivi atmosferici, d'altro canto ne maschera totalmente la naturale bellezza dei supporti lignei,

ragione per la quale, spesso la scelta ricade su prodotti trasparenti, in grado di proteggere il legno esaltandone al tempo stesso le naturali venature, peculiarità distintiva che spesso porta prediligerlo rispetto ad altri materiali. Entrambi i sistemi si presentano inoltre, in due diverse tipologie di applicazione, a poro aperto, nel caso in cui si voglia mantenere una buona impermeabilità e flessibilità consentendo al tempo stesso all'umidità di fuoriuscire dal legno, a poro chiuso invece nel caso in cui si voglia un sistema in grado di impedire l'ingresso dell'acqua formando un film chiuso ma dotato della necessaria elasticità. Ulteriore distinzione, sempre nell'ambito delle modalità di applicazione, permette di separare l'impregnante dalla finitura. Gli impregnanti possono essere applicati con diverse metodologie, per immersione, sottovuoto in autoclave e per colatura, anche se spesso in edilizia l'applicazione avviene normalmente a pennello o a spruzzo. E' importante far sì che l'impregnante penetri in profondità, applicare più mani di prodotto a breve distanza di tempo per meglio impregnare le fibre, al fine di ottenere la miglior protezione possibile. Per quel che concerne l'applicazione della finitura, occorre considerare l'ottima protezione che questa è in grado di offrire, sicurezza di cui specie i legni più teneri necessitano. Appartenenti a questa famiglia sono le vernici filmogene, come ad esempio il flatting, particolarmente indicate per gli esterni. Seguono le finiture satinate effetto cera, quelle appositamente pensate per i parquets per poi giungere alle specificità legate agli ambienti marini o fortemente industrializzati, dove l'aggressività nei confronti dei materiali presenti risulta molto elevata.

Tematica degna di esser considerata inoltre, seppur troppo spesso trascurata, è quella relativa alla preparazione del supporto, prima di esser opportunamente trattato. Fondamentale risulta in quest'ambito, al fine di massimizzare l'efficacia generata dal trattamento, porre particolare attenzione alle fasi antecedenti, differenziando al tempo stesso un legno nuovo da uno già verniciato. Nel caso di una prima applicazione è necessario rimuovere le sostanze oleose, eventuali resine presenti o altri inquinanti tramite accurato lavaggio, arrotondare gli angoli vivi se presenti, verificare il livello d'umidità all'interno del legno e in caso di valori eccessivi di questa, attendere l'evaporazione dell'acqua dal supporto. Infine, carteggiare e depolverizzare, seguendo la direzione della venatura. Leggermente

diversa la procedura nel caso di applicazioni su legni già precedentemente trattati, partendo dal rimuovere le vecchie vernici non ben ancorate al supporto tramite carteggiatura, si procede alla raschiatura o all'utilizzo di prodotti svernicianti. In presenza di muffe o funghi disinfestare l'oggetto ripetendo più lavaggi sino a che il legno non ritorna al colore originale. Se presenti, è fondamentale eliminare eventuali parti marcescenti ripristinandole, mentre qualora il danno fosse eccessivo occorre sostituire la parte danneggiata con legname nuovo. Se possibile, asportando completamente i vecchi strati superficiali, occorre procedere alla successiva verniciatura co me se si trattasse di supporto nuovo. Come esplicato, ad una corretta preparazione occorre prevederne una perfetta applicazione, accertandosi che essa avvenga in condizioni climatiche favorevoli, mescolando correttamente i prodotti prima e durante il trattamento, ponendo attenzione a quanto indicato nella scheda tecnica del produttore ed intervallando uniformemente il numero di mani da applicare.

Così come per quanto precedentemente osservato, meritevole di approfondimento risulta essere il tema relativo alle colle, argomentazione in stretta correlazione con il mondo del legno, dove spesso, a quest'ultimo vengono associate varie tipologie di applicazioni volte all'incollaggio fra porzioni di materiale.

Insieme alle vernici, gli adesivi e le colle in generale, costituiscono tuttavia una delle fonti più preoccupanti di inquinamento, specie a causa dei collanti contenuti al loro interno. La presenza di questi può esser ritrovata tanto nei prodotti di finitura quanto in quelli d'arredo, senza considerarne l'elevata diffusione nei materiali edili utilizzati per adesione, come ad esempio malte adesive e colle cementizie. L'ampia varietà oggigiorno disponibile, permette di soddisfare le più svariate applicazioni, dalle colle elastiche termofondenti, a quelle in dispersione acquosa, da quelle in solvente sino ad ottenere incollaggi effettuati tramite colle termoindurenti. Per colle reattive a due componenti si intende una miscela fra due prodotti separati, la cui reazione chimica provocherà l'effetto adesivo ricercato. Molto diffuse nel settore edile infine, le colle cementizie, particolarmente indicate per l'incollaggio di piastrelle ceramiche e lastre di marmo. Risulta particolarmente evidente dunque che la formulazione delle colle si basa su un grande numero di sostanze chimiche variamente emissive, motivo per il quale il loro utilizzo dovrebbe essere attento e

parsimonioso. Per ridurre il quantitativo d'adozione di colle, risulta opportuno prediligere ove possibile, appositi sistemi ad incastro, alternando a questi, sistemi di fissaggio alternativi, quali l'inchiodatura. Preferire arredi in legno massiccio e realizzati con incastri a spine, in quanto le produzioni molto economiche utilizzano di norma colle ureiche ad incollaggio immediato, particolarmente nocive per l'ambiente circostante e potenzialmente dannose anche per il fruitore finale del prodotto. Per un utilizzo ottimale, risulta opportuno ricorrere sempre al prodotto meno nocivo adatto alle esigenze specifiche, considerando solo ed esclusivamente sostanze dalla ridotta emissione di Voc.

Soltanto considerando simultaneamente tutte le possibili scelte, traendone infine le opportune osservazioni, si può associare il legno ad un materiale capace di generare prodotti edilizi di qualità, bilanciati ed equilibrati sotto i diversi punti di vista precedentemente analizzati in questa sezione. Spesso, sino a poco tempo fa, soprattutto in un contesto come quello italiano, un edificio in legno rimandava automaticamente il pensiero a collocazioni prettamente alpine, piuttosto che a manufatti edilizi destinati a soddisfare funzioni temporanee, quali bungalow o case di emergenza. L'inversione di tendenza attuale, come già precedentemente accaduto in altri contesti europei, considera il legno come fonte da cui partire per la realizzazione di manufatti architettonici di elevata qualità, dalle destinazioni d'uso più disparate, capace di dare vita a soluzioni complesse, elaborate e tecnologicamente all'avanguardia, sempre più apprezzate e ricercate da un target d'utenza medio elevato, attento al design così come al concetto relativo alla sostenibilità ambientale, in grado di apprezzarne, anche a fronte di investimenti sostanziosi, le peculiarità naturali che tale materiale è in grado di offrire.

- Figura 54: *Esempi di realizzazioni residenziali ecologiche di alto livello, interamente sorrette da strutture portanti in legno - fonte: http://www.biohaus.it/gallery.html*

Anticipando quanto redatto nel seguente capitolo conclusivo, sarà presentato un caso studio in fase di progettazione, prossimo alla realizzazione, con l'obbiettivo di concretizzare quanto teorizzato nella presente ricerca, andando a proporre un manufatto residenziale unifamiliare con struttura portante interamente in legno. Questa realizzazione si presenta capace, sia da un punto di vista tecnico e prestazionale, che relativo al design ed alle scelte funzionali, di entrare a pieno titolo all'interno di un range costruttivo di elevata fattura, all'interno del quale, piuttosto che alla mera eccellenza di un requisito singolo, si predilige un equilibrio ed un bilanciamento globale, con particolare attenzione alla componente relativa al costo in rapporto alla qualità effettivamente percepita, spesso oscurata da quella teorica semplicemente dichiarata.

Capitolo 4 - Sostenibilità e Qualità abitativa, un mix impossibile?

- 4.1 Il legno come parte integrante di un progetto sostenibile, attento al benessere dell'uomo ed alla salubrità dell'aria interna ma al tempo stesso capace di trasmettere una sensazione di qualità

- 4.2 La risposta alla presente ricerca mediante due esempi di applicazioni pratiche, sviluppate attraverso la presentazione di un caso studio in fase di realizzazione cantieristica e di un progetto di un'unità residenziale unifamiliare

4.2.1 Presentazione del cantiere di un Bed and Breakfast a conduzione familiare: dall'area di progetto alle caratteristiche strutturali, dalle specifiche costruttive al monitoraggio delle principali fasi di realizzazione

4.2.2 Progettazione di una villetta residenziale unifamiliare: la percezione della qualità del manufatto attraverso le principali tappe progettuali, dalle personalizzazioni "Tailor Made" per il Committente agli ambiziosi requisiti prestazionali raggiungibili 4.2.2.1 Inquadramento territoriale ed analisi del contesto d'intervento

4.2.2.2 Presentazione della Committenza e definizione delle relative esigenze, mediante intervista diretta

4.2.2.3 Dall'Idea al Concept di progetto: la prefabbricazione intesa come incipit iniziale per i dati preliminari di progetto, volta alla definizione del rapporto Progettista-Committente, non privo di proposte e soluzioni alternative createsi lungo il percorso, con il fine di individuare quelle che meglio rappresentano le esigenze di entrambe le parti

4.2.2.4 Descrizione del progetto

4.1 Il legno come parte integrante di un progetto sostenibile, attento al benessere dell'uomo ed alla salubrità dell'aria interna ma al tempo stesso capace di trasmettere una sensazione di qualità

Con i precedenti capitoli, in diverse occasioni si è cercato di far emergere gli aspetti fondamentali appartenenti al mondo del legno, specie considerandone l'applicazione dello stesso all'interno della progettazione edilizia, esplicandone al meglio le tecniche costruttive e gli accorgimenti da adottare per l'ottenimento di un progetto bilanciato, capace di sostenere il confronto con i materiali per così dire, tradizionali.

Inoltre, sempre più spesso il mondo dell'edilizia vede coinvolgere un gran numero di figure professionali attente alla ricerca del benessere dell'uomo, alla qualità dell'aria interna abitativa, mentre analogamente, le normative in tale disciplina, stanno subendo una notevole evoluzione. Nell'ultimo paragrafo del capitolo terzo, si è iniziato inoltre a menzionare ciò che costituisce parte del mondo del design, della ricerca estetico-formale inerente il mondo dell'edilizia residenziale. Al giorno d'oggi il progettista o designer incaricato nella ricerca di una soluzione abitativa tanto funzionale quanto esteticamente all'avanguardia, deve fare i conti con quello che è un'utenza sempre più informata, attenta alle continue evoluzioni e tendenze del mercato, spesso esigente e desiderosa di realizzare la propria abitazione cucita su misura, all'interno di un settore sempre più rivolto alla ricerca di personalizzazione ed individualità.

La sfida maggiore consiste attualmente nell'associare tali peculiarità al materiale legno, sconfinando dal luogo comune che sino a pochi decenni precedenti, vedeva tale essenza poco consona allo sviluppo di progetti di design d'elevato rango, complice anche il tanto tipico quanto erroneo abbinamento fra il legno e soluzioni abitative di emergenza piuttosto che di mera villeggiatura. In paesi come l'Italia più d'ogni altro, tale ritardo viene evidenziato dalla prevalenza di realizzazioni architettoniche con materiali per così dire tradizionali, dove il legno, seppur sempre meno, solo in parte viene prescelto come materiale da costruzione da utilizzare in toto. L'ultimo capitolo della presente ricerca, si pone dunque come principale obbiettivo quello di cercare di dimostrare, mediante due esempi pratici e tangibili,

come anche con il legno, se opportunamente impiegato, si possono raggiungere risultati eccellenti, in grado per certi aspetti addirittura di superare la concorrenza con i materiali d'impiego tradizionali. L'abbinamento fra prestazioni e design all'interno di un'unica soluzione progettuale, porta di conseguenza ad attrarre una Committenza particolare, esigente ma al tempo stesso molto sensibile nei confronti della sostenibilità ambientale, spesso istruita e particolarmente attenta al mondo dell'hi-tech.

4.2 La risposta alla presente ricerca mediante due esempi di applicazioni pratiche, sviluppate attraverso la presentazione di un caso studio in fase di realizzazione cantieristica e di un progetto di un'unità residenziale unifamiliare

Il percorso di ricerca intrapreso, ha portato inevitabilmente ad un livello di conoscenza teorica del materiale e di un corretto impiego dello stesso, tale da poter sostenere un filo conduttore argomentativo coerente, rivolgendosi a tutti coloro che desiderano avvicinarsi al mondo del legno, inteso come materiale da costruzione.

Tuttavia come spesso accade, una connotazione puramente teorica, per quanto esaustiva, non riesce a rendere del tutto l'idea del concetto espresso, specie considerandone la tipologia di utenza a cui vengono rivolte determinate tematiche. Il progettista, sia esso Architetto, Ingegnere o Designer, spesso necessita, oltre alla ricerca tecnico-scientifica, di un contributo pratico, dall'esempio realizzativo al progetto stesso, così da sperimentare sul campo, quanto appreso a livello teorico.

Tanto per valorizzare, quanto per contribuire ad una maggior comprensione da parte del fruitore stesso, di fondamentale importanza è risultata la collaborazione con l'Azienda VASS Tecnologies, grazie alla quale si è potuto incentrare l'attenzione su quel che concerne il mondo pratico ed esemplificativo del mondo delle realizzazioni in legno.

L'Azienda, situata in provincia di Torino, nacque nel 2010 come produttrice di tetti modulari high tech, creata sin da subito grazie ad un mix fra genialità, intuizione e riservatezza tipiche dell'Ingegner Giuseppe Gianolio, tutt'ora Amministratore Delegato della stessa.

Il confronto con modelli costruttivi obsoleti, hanno portato l'Azienda ad una realizzazione di un brevetto unico, volto a crear spazio per un prodotto innovativo. La filosofia che da sempre ha contraddistinto VASS Technologies si basa sul concetto di Team, inteso non solo come lavoro di squadra, bensì come uno scambio continuo ed interdisciplinare di informazioni e figure professionali, abbinate ad un costante sostegno di alcuni costruttori edili.

Il modulo base del tetto, brevettato e denominato Puzzle Roof™, possiede una stratigrafia propria, caratterizzata da diversi strati di isolamento, con una parte a

vista che può essere di legno, intonacabile su richiesta, mentre un'apposita guaina abbinata ad una parte di ventilazione garantiscono le performance dichiarate. A differenza delle almeno due settimane per la realizzazione di un tetto tradizionale, in tre giorni con tale soluzione risulta possibile vedere realizzato il proprio tetto, comprensivo delle finiture finali a corredo, dai moduli audio all'illuminazione d'interni richiesta, dall'impiantistica alla collocazione dei lucernari desiderati.

Figura 55: *Esploso relativo alla composizione del tetto VASS – fonte: http://www.vasstech.it/soluzioni/tecnologia/tetto-ventilato*

Alle ridotte tempistiche espresse si vanno ad abbinare operazioni di montaggio semplici, dove la prefabbricazione modulare non lascia spazio a lunghe post – lavorazioni in fase d'opera.

Con l'ambizione di realizzare un prodotto di qualità, non economico ma al tempo stesso competitivo e capace di raggiungere prestazioni da casa passiva, l'Azienda si rivolge ad imprese, professionisti e clienti finali, tanto per nuove realizzazioni quanto per ristrutturazioni complete.

Tutt'oggi, gli standard e le intenzioni iniziali dell'Azienda, possono esser ritrovati all'interno di un manufatto edilizio completo, non più limitato alle sole sopraelevazioni o coperture.

- Figura 56: *Dettaglio di facciata di una villetta unifamiliare realizzata da VASS Technologies – fonte: http://www.vasstech.it/dicono-di-noi/photogallery*

La professionalità ed esperienza dimostrata hanno portato alla produzione presso stabilimenti di proprietà, con realizzazioni in opera da parte di un personale locale e qualificato come VASS PRO, unito da ricerca ed innovazione continue. L'evoluto sistema di progettazione in BIM ha inoltre permesso una documentazione completa dei progetti eseguiti, contribuendo al tempo stesso al garantire tempi e costi. L'evoluzione Aziendale ha portato di conseguenza alla disponibilità di soluzioni standard abbinate allo sviluppo di singoli progetti ad hoc, cuciti sulla base delle specifiche esigenze da parte del Cliente, con la completa disponibilità di visitare i cantieri in zona. Tali peculiarità, unite alla collaborazione con BigMat, una vera e propria garanzia per il territorio grazie alla competenza nel mondo della distribuzione di materiale per l'edilizia, hanno contribuito al raggiungimento di un livello progettuale completo.

L’occasione collaborativa proposta, più che mai sembrava esser pertinente con il tema di ricerca stabilito, consentendo al tempo stesso di poter realizzare un valido fil rouge fra l’approccio teorico e la pratica progettuale. All’interno dell’Azienda più volte si è presentata l’occasione di poter osservare realmente quanto precedentemente approfondito, in particolare ci si è potuti concentrare su quel che concerne il tema della prefabbricazione, fondamentale nel caso in cui si voglia utilizzare un materiale come il legno. I componenti delle case VASS vengono infatti realizzati in azienda, a vantaggio della qualità e della garanzia di un risultato analogo a quello prefissato, complici anche i numerosi e certificati controlli di qualità, distribuiti lungo l’intero processo di fabbricazione, accomunati dall’evitare qualsiasi problema ed imperfezione legato alla fase di montaggio ed utilizzo. Infine, a dimostrazione di quanto osservato all’interno dell’Azienda, le tempistiche di assemblaggio del manufatto edilizio sembrano esserne la prova stessa, garantendo in soli 4 mesi la realizzazione di un’abitazione da 140 m^2.

Nello specifico, l’attività preminente relativa alla presente tesi di laurea si è incentrata in particolare sull’approfondimento di un caso studio in fase di realizzazione cantieristica e di un progetto di un’unità residenziale unifamiliare. L’opportunità di analizzare al tempo stesso due casi studio differenti in fasi di realizzazione altrettanto disomogenee, ha altresì fornito un valido supporto per quel che concerne le competenze acquisite durante tale percorso. Nel primo approfondimento si è potuto analizzare da vicino l’intero processo cantieristico di un edificio residenziale con struttura portante in legno, corredato da fotografie di dettaglio, rilievi, sopralluoghi in loco e scambi di informazioni con il personale qualificato impegnato nella realizzazione dell’opera, attività all’interno della quale non sono mancate le piccole problematiche tipiche del mondo dell’edilizia, siano esse leggeri ritardi rispetto alle tempistiche prefissate o piccoli cambi di programma imprevisti. Tuttavia, a dispetto di quel che potrebbe costituire un cantiere di edilizia tradizionale, con l’adozione del legno diversi sono risultati i vantaggi riscontrati, dall’estrema pulizia e silenziosità del cantiere, essendovi quasi del tutto sistemi di montaggio a secco, alla minimizzazione degli errori e dei ritardi grazie all’adozione di moduli prefabbricati.

Il secondo caso studio, ha costituito invece parte di quel che è considerato un momento fondamentale di ogni realizzazione edilizia: quello inerente la progettazione tecnica. In tale circostanza si è potuto comprendere quanto questa fase sia estremamente delicata, quanto decisiva, al fine di dar vita ad una vera e propria realizzazione in opera. Non ultimo, il rapporto con la Committenza, scandito da continue revisioni, aggiornamenti ed incontri, non senza anche in questo caso, alcuni piccoli diverbi, legati sempre da ragionamenti costruttivi o compromessi studiati sin nei minimi dettagli, al fine di poter soddisfare appieno le esigenze del Cliente finale, da cui tutto infine dipende e la cui soddisfazione dovrebbe al contempo esser parte del successo dell'Azienda e del Team di professionisti alla base della stessa. Comparando i due esempi realizzativi nelle altrettanto differenti attività a cui si è potuto partecipare, se nel primo fondamentale è stato l'apprendere le tecniche costruttive ed il cronoprogramma dettagliato dei lavori, nel secondo l'attenzione si è incentrata maggiormente sulla Committenza, andando a ragionare anche su tematiche inerenti la progettazione del design, l'attenzione alle finiture ed al prodotto finale. Soltanto assistendo ad entrambe le attività sopra citate, si potrebbe affermare di aver partecipato in toto ad un processo costruttivo completo, dagli incontri iniziali con il Cliente al concept di progetto, dai disegni tecnici esecutivi alla documentazione normativa necessaria, dalla realizzazione dei moduli prefabbricati in stabilimento sino all'effettivo montaggio in cantiere. L'intero processo che, dall'idea iniziale raggiunge la carta, per poi esser effettivamente prodotto, non costituisce sicuramente un operato semplice né privo di difficoltà, bensì genera una serie di competenze, rapporti personali e soddisfazioni professionali difficilmente schematizzabili, in quanto spesso ogni caso studio si presenta a sé stante, non riconducibile ad un'applicazione o metodologia standard.

4.2.1 Presentazione del cantiere di un Bed and Breakfast a conduzione familiare: dall'area di progetto alle caratteristiche strutturali, dalle specifiche costruttive al monitoraggio delle principali fasi di realizzazione

Passando in rassegna nello specifico di quel che è stata la prima attività presentata nel paragrafo precedente, occorre partire come in ogni caso studio si voglia presentare adeguatamente, dall'area di progetto e dalle specifiche esigenze della Committenza.

Il cantiere è collocato a Baldissero Torinese, nell'omonima provincia di Torino, perfettamente inserito in un lotto dalle dimensioni contenute, ma dalla vista panoramica mozzafiato, caratteristica che va ad indirizzare in maniera decisiva l'orientamento stesso dell'edificio. La Committenza, una coppia matura con anni di esperienza nel settore della ristorazione locale, ha sin da subito esplicato l'esigenza di andare a realizzare una struttura residenziale collocata in un contesto tranquillo, ma al tempo stesso facilmente raggiungibile dai servizi presenti nel centro urbano più vicino. La particolarità del presente caso studio è risultata tuttavia l'abbinare quanto espressamente richiesto, ad un'attività ricettiva familiare, rappresentata perfettamente dalla formula del Bed and Breakfast, andando a racchiudere all'interno della stessa struttura, riservatezza e disponibilità al ricevimento, garantendo la privacy tanto del proprietario quanto degli ospiti, progettando accuratamente sia gli spazi comuni che quelli riservati alle specifiche esigenze.

Come accennato in precedenza, il personale contributo offerto nella presente attività si è incentrato maggiormente nelle fasi successive agli incontri con la Committenza ed alla progettazione tecnica, andando invece a definire quelle inerenti la presentazione del cantiere, le caratteristiche della struttura portante, per poi giungere a dei veri e propri sopralluoghi in cantiere, fornendone la documentazione necessaria mediante l'ausilio di fotografie di dettaglio costruttivo, di fasi di realizzazione, di trasporto e montaggio dei moduli prefabbricati, soffermandosi in particolar modo sui particolari stratigrafici piuttosto che sui nodi di unione fra parete e solaio.

Il cantiere oggetto di studio, inaugurato nel mese di Aprile del corrente anno 2018, fa riferimento all'Impresa Costruttrice F.A.R.A., mentre a capo della Direzione dei Lavori vi è il Geom. Fabio Rubatto.

La realizzazione della struttura portante, si basa sul principio costruttivo caratterizzato dall'unione ed assemblaggio di moduli portanti prefabbricati, i quali arrivano in loco pronti da poter esser posati in opera, con conseguenti risparmi in termini di tempi e costi in fase di realizzazione, riducendo di conseguenza notevolmente le percentuali di errore impiegabili.

L'involucro strutturale VASS è caratterizzato da dei "pacchetti" stratigrafici completi e preassemblati, scomponibili in base alle esigenze di utilizzo, uniformità di prodotto ricercata dall'Azienda per poter adottare notevoli risparmi economici in fase di produzione, applicando tale tecnologia a tutte le componenti caratterizzanti la struttura, dal solaio alle pareti sino a giungere alla copertura.

Per quel che concerne ad esempio la parete esterna portante, si adotta il modulo VASS isolato, composto da due pannelli di OSB 3, un materiale legnoso costituito da diversi strati di scaglie orientate, interposta al quale vi è la struttura portante in legno, caratterizzata dall'alternarsi di barre strutturali RVH e fibra di legno a bassa densità.

- Figura 57: *Stratigrafia del modulo parete portante VASS*

Tali caratteristiche permettono al modulo il raggiungimento di un valore di trasmittanza pari a 0.25 W/m^2K, in uno spessore globale di appena 0.196 m. A dimostrazione della rapidità di assemblaggio e della completezza produttiva il tutto viene fornito compreso di ferramenta di fissaggio al cordolo o alla platea.

La realizzazione oggetto di studio, presenta inoltre un cappotto da 15 cm di spessore, costituito da uno strato di intonaco esterno ed uno isolante in fibra di legno, abbinati rigorosamente con collanti ecologici privi di sostanze chimiche aggressive ed appositi giunti ad incastro.

- Figura 58: *Cappotto realizzato con isolante in fibra di legno*

Il sistema di fissaggio avviene in tal caso mediante graffatura zincata e resinata. La densità media registrata si attesta sui 185 kg/m^3, con una trasmittanza di 0.27 W/m^{2}K. Le restanti partizioni, siano esse interne non isolate, piuttosto che contropareti specifiche, vengono ottenute semplicemente andando a modificare laddove richiesto il modulo standard sopra descritto, metodologia eseguita anche per quel che concerne il solaio e la copertura. Quest'ultima, denominata dall'Azienda stessa come Modulo VASS copertura standard con EPS, prevede un valore di trasmittanza di 0.21 W/m^{2}K ed uno spessore pari a 0.24 m, caratteristiche che portano l'intero involucro a collocarsi abbondantemente in classe energetica A. La stratigrafia del presente modulo è composta da un tavolato continuo in legno,

abbinato ad un telo freno-vapore posato a secco, opportunamente nastrato nei giunti e con le conseguenti sovrapposizioni.

L'isolamento è invece garantito da un apposito strato in EPS addizionato a graffite di tipo NEOPOR, in aggiunta a due tipologie distinte di pannelli in fibra di legno, dalla differente densità. Infine, lo strato di ventilazione sottotegola è supportato dal telo di protezione traspirante ed impermeabile, appositamente nastrato nei giunti d'intersezione.

- Figura 59: *Stratigrafia del modulo di copertura VASS*

Così come per i moduli parete, ampia scelta è garantita al Committente, il quale ha la possibilità di selezionare il tipo di finitura finale gradita, dalla travatura al tipo di perlinatura, non per ultima l'ampia possibilità di scelta relativa alle tegole.

Nello specifico caso studio, il Cliente, diverse volte ha espresso la propria preferenza per il legno a vista, sia per quanto riguarda il sottotetto che per il solaio, anch'esso con telaio unito ad un'orditura di tale tipologia.

La travatura portante lamellare viene in questo caso implementata da un tavolato legnoso collocato superiormente alle travi, con la funzione di piano di posa per la stratificazione del successivo pavimento. Anche in questa sezione l'accuratezza esecutiva viene sottolineata dall'apposizione del telo protettivo e traspirante, reso impermeabile dalla nastratura dei giunti ad alta resistenza. Completano la realizzazione il massetto di posa e il legante idraulico predisposto nell'ottica del successivo incollaggio della pavimentazione. Laddove necessario, ancora una volta apportando semplici modifiche strutturali, è possibile ad esempio, predisporre del necessario spazio per la posa degli impianti, al fine di poter andare a soddisfare il maggior numero possibile di richieste specifiche. Le specificità ed unicità legate ad ogni singolo progetto, ancora una volta vengono confermate dalla particolare richiesta del Committente di mantenere intatta una porzione preesistente in cemento armato, andando a pensare ad un'integrazione ottimale fra tale materiale ed il legno. Il soddisfacimento di tale richiesta non è risultato di immediata esecuzione, tuttavia, l'intercapedine preesistente, adibito a locale tecnico impiantistico, una volta studiata la combinazione ideale con la nuova struttura portante in legno, ha contribuito a conferire al caso studio, oltre che praticità funzionale, anche un tratto distintivo ed unico nel proprio genere.

Come precedentemente esposto, l'Azienda VASS si pone sul mercato edilizio come anello di congiunzione e di intermediazione fra diverse figure professionali coinvolte all'interno del processo costruttivo residenziale, e, non diversamente da quanto esplicato, per i calcoli di dimensionamento strutturale ci si è potuti affidare all'Ingegnere Strutturale interno al Team. L'adozione del legno lamellare GL24H in Abete KVH, giuntato con spinotti d'intersezione a pettine, caratterizza l'intera struttura portante, costituita da sezioni dimensionali diverse, regolate come di consueto, dalla gerarchia degli elementi portanti in opera.

- Figura 60: *Esempio di travi in legno lamellare in Abete KVH – fonte: http://www.binderholz.com*

L'attenzione alla qualità del manufatto, unita al rispetto per l'ambiente, è totalmente dimostrabile grazie al ricorso di essenze lignee di prima qualità, comprensive della certificazione ambientale FSC.

Le specificità del presente caso, han fatto si che, seppur in leggero contrasto con la filosofia Aziendale del ricorso in toto al materiale ligneo, vi fosse la presenza alternata, come deducibile da alcune fotografie di cantiere sottostanti, di travi strutturali portanti in acciaio del tipo IPE, particolarità resa necessaria per sopperire all'eliminazione di un pilastro in calcestruzzo armato precedentemente inserito nella zona living. La ricerca di tale compromesso, a dimostrazione di fornire sempre il maggior numero possibile di alternative al fine di trovare quella migliore, ha portato ad un maggior spazio libero vivibile, andando al tempo stesso a creare un ricercato effetto stilistico, particolarmente gradito dal Cliente, che spesso prende il nome di Industrial Style, nato dall'unione di materiali prettamente ad utilizzo industriale come l'acciaio, abbinati elegantemente ad essenze naturali come il legno, piuttosto che a materiali come il vetro ed il cemento.

Fra i vantaggi precedentemente illustrati relativi al mondo delle costruzioni in legno, quello che spesso viene maggiormente sentito dal Cliente, riguarda in particolar modo la possibilità di documentare e visitare agevolmente il cantiere in fase di realizzazione, attività alla quale è stata dedicata personalmente la maggior attenzione possibile. Un cantiere pulito, silenzioso e facilmente accessibile, non

costituisce infatti un vantaggio solo per l'operatore addetto ai lavori, bensì consente tanto al professionista quanto al privato, di poter assistere passo dopo passo alle principali fasi di costruzione, rendendo un eventuale errore o cambio di programma, facilmente attuabile e risolvibile, costituendo inoltre nel tempo, un'importante fonte fotografica e documentativa. Dai primi sopralluoghi nell'area di progetto, si è poi proseguito con gli scavi del terreno, nel quale è stata interrata una cisterna per la raccolta delle acque.

- ***Figura 61:*** *Fotografie di cantiere scattate durante gli scavi di preparazione del lotto di progetto*

- ***Figura 62:*** *Interramento della cisterna di raccolta delle acque*

A seguito della predisposizione dei ferri di armatura e posa in opera della rete elettrosaldata, particolare esempio di esecuzione a regola d'arte è stata la realizzazione del vespaio areato mediante igloo di areazione, sopra al quale è avvenuta la gettata in opera del battuto in calcestruzzo, opportunamente livellato in

piano e predisposto, tramite il rivestimento dei cordoli con una guaina impermeabile, al montaggio successivo dei moduli parete prefabbricati. Il completamento della platea, la quale funge da vero e proprio sostegno per l'intero edificio, avviene inoltre a seguito della realizzazione dei pilastri portanti in calcestruzzo armato.

- Figura 63: *Predisposizione dei ferri di armatura e preparazione della soletta in c.a. mediante posa in opera della rete elettrosaldata*

- Figura 64: *Preparazione del vespaio mediante igloo d'areazione e dettaglio degli stessi*

- Figura 65: *Preparazione del battuto in cemento mediante l'utilizzo della strumentazione tecnica per il rilievo ed il tracciamento*

- Figura 66: *Realizzazione del battuto in cemento*

- Figura 67: *Livellamento e completamento del battuto in cemento*

- Figura 68: *Dettaglio dei ferri di armatura e porzione della platea in c.a. d'appoggio per il fabbricato in legno*

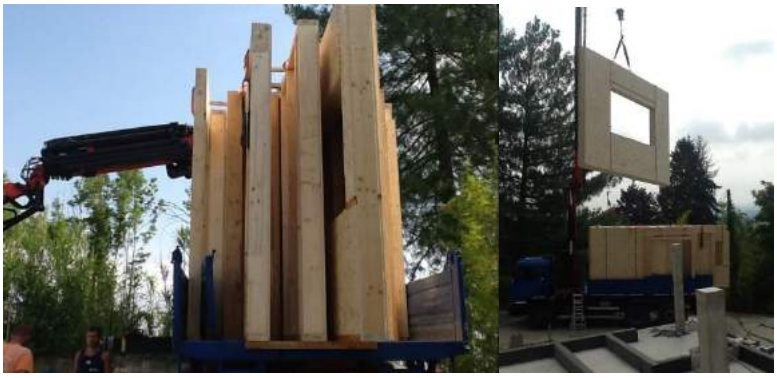
- Figura 69: *Rivestimento dei cordoli con guaina impermeabile e barriera all'acqua*

- Figura 70: *Completamento della platea con i pilastri portanti*

- Figura 71: *Trasporto di materiale da costruzione*

Particolarità tipica del mondo della prefabbricazione, è l'arrivo sul lotto di progetto con i moduli costruttivi già perfettamente pensati per esser posti in opera, fase di gestione logistica particolarmente delicata, dato il trasporto di volumi impegnativi di materiale.

Le pareti modulari in tale procedura, vengono assemblate in loco mediante appositi tiranti e saldamente ancorate grazie al supporto delle piastre in acciaio, le quali contribuiscono anche, in caso di terremoto, allo smorzamento delle oscillazioni da esso causate, motivo per il quale spesso, in località particolarmente colpite da questi fenomeni, si predilige tale tecnologia costruttiva. Si termina infine la fase di assemblaggio dei moduli VASS mediante l'apposizione dei nastri di tenuta marchiati HOLZ Technic, dettaglio costruttivo di non poco conto, specie considerandone l'elevato potere di tenuta all'aria ed all'acqua, che questo elemento possiede.



- Figura 72: *Trasporto e manovre di posa del primo modulo parete prefabbricato VASS*

- Figura 73: *Gestione della logistica durante la fase di scarico del modulo parete dall'automezzo*

- Figura 74: *Sistema di posa delle pareti VASS con appositi tiranti*

- Figura 75: *Esempio di assemblaggio delle pareti VASS mediante piastre di ancoraggio in acciaio*

- Figura 76: *Particolare di applicazione del nastro di tenuta HOLZ Technic*

- Figura 77: *Veduta dal lotto di progetto*

- Figura 78: *Dettaglio di rilievo in cantiere*

Si procede in seguito con la posa e realizzazione del solaio e dell'orditura delle travi principali e secondarie, corredato in questo specifico caso da falsi puntoni a sbalzo, da travi con finitura a vista e dalla particolare struttura relativa al serramento di tipo bow-window, la cui vista domina l'immenso panorama antistante.

- Figura 79: *Collocazione della trave principale in acciaio*

- Figura 80: *Collocazione del ponteggio metallico di sicurezza*

- Figura 81: *Orditura delle travi del solaio sito al piano primo*

- Figura 82: *Preparazione del solaio piano primo mediante travi secondarie*

- Figura 83: *Struttura portante del serramento di tipo bow-window*

Figura 84: *Particolare costruttivo e gerarchia stratigrafico-strutturale relativa al solaio del piano primo, con posa della trave in acciaio di tipo IPE sulla porzione di muratura preesistente*

- Figura 85: *Particolare dei falsi puntoni a sbalzo*

- Figura 86: *Finitura ed orditura delle travi in legno a vista del piano terra*

La realizzazione del primo piano prosegue con l'assemblaggio, analogamente a quanto avvenuto al piano terra, dei moduli portanti delle pareti, per poi giungere all'alloggiamento della trave di colmo.

- Figura 87: *Primo piano della trave di colmo e sistemazione dei tiranti di posa per le pareti*

- Figura 88: *Prospettiva del cantiere in fase di completamento*

- Figura 89: *Veduta dal piano primo*

- Figura 90: *Dettaglio di parete e predisposizione per l'alloggiamento della trave di colmo*

Procedendo con le fasi cantieristiche successive, seguono la posa della trave di colmo e la conseguente orditura di quelle relative al sottotetto, con particolare attenzione al nodo dell'unione fra questo e le pareti precedentemente assemblate.

Su richiesta del Cliente, anche per quel che concerne tale piano, la travatura di copertura verrà lasciata a vista e corredata dall'apposito perlinato, così come in seguito ad una particolare richiesta di attenzione all'eventuale umidità interna, si è dedicata una considerevole accuratezza nella progettazione stratigrafica del tetto, completata dalla posa del telo freno-vapore. Infine, a seguito dell'installazione impiantistica necessaria, si è proseguito al rilievo ed allo studio al fine di prevedere una corretta posa dei serramenti esterni.

- Figura 91: *Orditura e particolare gerarchico delle travi di copertura sottotetto*

- Figura 92: *Dettaglio dell'unione pareti-sistema di copertura*

- Figura 93: *Indicazioni descrittive del cantiere in corso*

- Figura 94: *Travatura del sottotetto e del perlinato relativo al serramento di tipo bow-window*

- Figura 95: *Realizzazione stratigrafica e veduta del sistema di copertura*

- Figura 96: *Particolare stratigrafico della copertura, con primo piano sul telo freno-vapore HOLZ Technic*

Per quanto riguarda gli sviluppi successivi, dai serramenti interni ai rivestimenti, per poi accedere a tutto quello che costituisce l'ampio mondo delle finiture di dettaglio finali, l'attenzione verrà, come anticipato in apertura del capitolo, incentrata su un altro caso studio, dedicando gran parte dell'attività svolta all'interno dell'Azienda per la progettazione di design e per la ricerca delle finiture secondo i gusti della Committenza, andando ad anticipare quel che costituirà il *core* dello sviluppo finale della presente ricerca.

4.2.2 Progettazione di una villetta residenziale unifamiliare: la percezione della qualità del manufatto attraverso le principali tappe progettuali, dalle personalizzazioni "Tailor Made" per il Committente agli ambiziosi requisiti prestazionali raggiungibili

Come spesso accade, tematica alla quale è stato dedicato ampio respiro nei capitoli precedenti, nella progettazione con il legno non di rado vengono sottolineati maggiormente gli aspetti legati ai dettagli costruttivi, alla sostenibilità ed impatto ambientali, al confronto con materiali tradizionali, spesso tralasciandone la componente estetica, il design e la ricerca del dettaglio finale. In analogia con il malinteso comune che raramente vede associare al legno, tutto quel che concerne il mondo delle finiture e della personalizzazione "Tailor Made" da parte del Committente.

- Figura 97: *Personalizzazioni interne "Custom Made" da presentare al Cliente finale – fonte: http://www.illulian.com/it/design-studio.html*

Ancora una volta, il personale contributo fornito all'Azienda, si è incentrato nella progettazione di un edificio residenziale unifamiliare, ponendo particolar attenzione alle singole esigenze del Committente, al fine di far risaltare la qualità del prodotto finale, percezione alimentata tanto dalla praticità e sfruttamento ottimale degli spazi, quanto dall'attenzione per il design, dall'accostamento dei materiali all'illuminotecnica, dalle scelte d'arredo interno sino a quelle riguardanti l'esterno dell'abitazione. Anche in quest'occasione, le performance energetiche ottenute, vanno ad innalzare ulteriormente un prodotto già destinato al raggiungimento di un'eccellenza mai assoluta, bensì ottenibile con un accurato studio d'equilibrio costruttivo generale.

4.2.2.1 Inquadramento territoriale ed analisi del contesto d'intervento

L'area di progetto, dal quale prende origine l'idea di andare a realizzare il manufatto oggetto di studio, è situata a Fiano Torinese, nell'omonima provincia di Torino.

- Figura 98: *Inquadramento territoriale del contesto di inserimento del progetto – fonte: http://www.comune.fiano.to.it/it-it/home*

Lo studio preliminare del lotto, risulta fondamentale e costituisce il primo vero momento di confronto con la realtà nella quale sorgerà il progetto finale. Lo studio dell'esposizione solare, nonché delle caratteristiche intrinseche dell'area, dall'accessibilità del lotto ad una corretta georeferenziazione delle coordinate locali, costituiscono in assoluto i primi passi per il successo e la fattibilità del progetto.

Nello specifico l'area oggetto di realizzazione, essendo costituita da un'ampia superficie costruibile abbinata ad una buona esposizione solare, non ha portato particolari rinunce né per quanto riguarda la superficie interna calpestabile, né per quel che concerne l'orientamento stesso del fabbricato. Per contro, è risultato leggermente oculato il discorso inerente il piano del terreno, dibattito alimentato dall'incertezza se mantenere l'originaria pendenza, piuttosto che riportare la quantità necessaria di terra per poter elevare l'intera superficie di un metro, andando al contempo a realizzare una sorta di collina artificiale. Se quest'ultima soluzione

avrebbe potuto incrementare la panoramicità dell'intera realizzazione, collocando la futura residenza in una posizione privilegiata e dominante, la scelta, regolata specialmente in base alle preferenze del Committente, è ricaduta sulla prima soluzione, seppur meno scenografica, maggiormente conservativa e rispettosa delle origini del contesto, il quale si è dimostrato meritevole di opportuni approfondimenti.

Fiano è infatti un comune Piemontese di oltre duemila abitanti, situato ai piedi delle prime elevazioni della catena alpina, a Nord-Ovest di Torino.

Il territorio comunale, che culmina con il Monte Corno posto ad un'altitudine di oltre i 1.226 m, è diviso principalmente in tre zone, un'area montana, seguita da una zona pianeggiante e densamente abitata, per poi giungere ad un territorio di tipo collinare, dominato in gran parte dal Parco regionale La Mandria, attraversato a sua volta dal corso d'acqua più rilevante del comune, il torrente Ceronda.

- Figura 99: *Veduta dal centro storico di Fiano (TO) della Chiesa Parrocchiale – fonte: http://www.comune.fiano.to.it/it-it/home*

Come spesso accade, negli ultimi cinquant'anni, a partire dal 1961, la popolazione residente è raddoppiata, tant'è vero che il caso studio preso in considerazione è attualmente considerato una delle tante nuove realizzazioni, volte a vivacizzare e

ripopolare un’area piemontese tendenzialmente tranquilla, seppur comodamente raggiungibile dalle vicinanze del capoluogo torinese.

4.2.2.2 Presentazione della Committenza e definizione delle relative esigenze, mediante intervista diretta

Quando si parla di Architettura, spesso si trascura il fine ultimo per cui essa stessa viene realizzata: quello di soddisfare le esigenze di coloro che vivranno quel determinato luogo. Se inizialmente tali esigenze erano legate a questioni puramente pratiche e di utilizzo, fare Architettura oggi significa assecondare i gusti e le scelte individuali dell'utilizzatore finale. Particolare attenzione è dunque da destinarsi per quel che concerne la componente umana e strettamente personale del Committente, spesso l'uno diverso dall'altro, dove difficilmente ci si può ricondurre ad un *modus operandi* comune.

Tuttavia, a dispetto dell'impossibilità di poter individuare delle categorie di utilizzatori, con l'aiuto dei collaboratori del VASS Team, si è cercato, mediante interviste dirette ed innumerevoli incontri con i clienti stessi, di cercare un *fil rouge* capace di poter se non classificare, perlomeno di indirizzare la progettazione verso una direzione piuttosto che verso un'altra, con considerevoli riduzioni di tempi e costi, uniti ad una maggiore ed immediata interpretazione delle esigenze del Cliente. In seguito alle ricerche ed ai dati raccolti, si è, con stupore, chiaramente potuto comprendere come spesso l'età delle persone intervistate, costituisca un ruolo fondamentale nell'individuazione di un determinato target, mentre per quel che concerne lo status sociale, a dispetto delle differenze che spesso potrebbero generarsi, l'attenzione dell'Azienda Vass Technologies spesso è rivolta, come precedentemente affermato, ad un pubblico collocato in una fascia di popolazione caratterizzata da un tenore di vita medio-alto, pur considerandone le dovute sfumature del termine.

Nel caso specifico qui presente, si tratta di una giovane coppia di professionisti, rispettivamente impegnati nel settore della ristorazione ed in quello medico-sanitario. Sin dal primo incontro è emerso con chiarezza la loro predisposizione al dialogo ed al confronto, volta ad instaurare un rapporto tanto colloquiale ed informale quanto professionale e tecnico al tempo stesso, alimentato da revisioni ed incontri regolari e scanditi con omogeneità.

La loro giovane età, a differenza di quanto potrebbe essere stato nel caso di una Committenza più matura, ha semplificato notevolmente quel che concerne la comunicazione "in remoto", sia essa avvenuta per mezzo di mail che per qualsiasi altra modalità tecnologicamente avanzata. D'altro canto, a vantaggio di quel che invece, difficilmente sarebbe potuto accadere con un pubblico *âgé,* si è potuta riscontrare nel corso dei continui incontri pattuiti, malgrado il costante buongusto e senso estetico riscontrato, una certa inesperienza ed indecisione in alcune scelte effettuate, andando ad alimentare il luogo comune secondo il quale una casa, per poter esser considerata "definitiva" debba esser pensata almeno tre volte, nell'ottica dei possibili e futuri reimpieghi, abbinati all'andamento delle mode e delle tendenze stilistiche del mercato, che sempre più spesso, vedono il mondo dell'edilizia coinvolto all'interno di tal fenomeno.

Tuttavia, l'obbiettivo fondamentale per poter migliorare notevolmente il lavoro tanto del progettista quanto dell'impresa costruttrice, rimane senza dubbio la raccolta del maggior numero possibile di dati ed informazioni, abbinato ad una meticolosa gestione della documentazione, da quella preliminare sino agli esecutivi di progetto.

- Figura 100: *Documentazione di tavole esecutive di progetto – fonte: http://www.progettopicone.it/competenze/progettazione-architettonica*

L'inizio di tale percorso vede sempre la propria origine dall'incontro con i Committenti, volto alla ricerca dei gusti individuali, delle esigenze e dei compromessi presentabili durante il cammino, premesse che, se ben definite sin

dall'inizio, possono contribuire in maniera importante al successo ed alla miglior riuscita possibile della realizzazione.

Nello specifico caso esaminato, le domande, alle quali fra l'altro sempre più spesso corrisponde il maggior interesse da parte dell'utente finale, sono state raccolte e reinterpretate opportunamente, facendone tesoro anche per casistiche future, in quanto come appena accennato, spesso le curiosità da parte del visitatore per così dire "non addetto ai lavori", vertono su argomenti di natura similare.

Il primo quesito posto, è stato quello inerente al ruolo che il materiale legno possa svolgere all'interno dell'Architettura Contemporanea, sia in termini di casistiche che di effettiva predilezione verso lo stesso.

Il legno è una sorpresa continua, costituisce forse il più antico materiale da costruzione che l'uomo abbia mai impiegato, e con il tempo ha dimostrato di essere assolutamente contemporaneo e all'altezza di altri materiali innovativi, a differenza dei quali tale materiale è in grado da solo di mettere in moto una filiera virtuosa che va esattamente incontro alle politiche europee di salvaguardia del pianeta e di controllo dei cambiamenti climatici. Ulteriore domanda alla quale spesso il progettista si trova a dover rispondere, riguarda i vantaggi che derivano dall'impiego del legno nelle costruzioni, curiosità dalla quale spesso, prendono origine i concetti relativi alla valutazione della sostenibilità degli edifici.

A tale scopo vi sono alcuni documenti ufficiali, come ad esempio il Protocollo Itaca, che esprimono il livello di sostenibilità di un intero edificio in rapporto alla prassi costruttiva presente nell'area geografica di valutazione, all'interno della quale il legno svolge un ruolo positivo soprattutto considerandone la provenienza da fonti rinnovabili, l'adozione ricorrente ad essenze tipiche locali e l'elevato livello di riciclabilità e smontabilità, tre caratteristiche chiave che collocano il legno all'apice di una già ristretta classe di materiali sostenibili da costruzione.

Fra le diverse domande a cui si è assistito, la più particolare è stata quella di considerare il legno come materiale da costruzione seppur unico, al tempo stesso capace di andare oltre il concetto di sostenibilità. Il legno, meglio di altri materiali, è capace di raggiugere prestazioni tecniche ragguardevoli, soprattutto in materia

energetica. La buona attitudine dello stesso a non trasmettere calore, tradotta da un basso coefficiente di conducibilità termica, favorisce il progettista nel dimensionamento degli isolanti che saranno meno impegnativi rispetto ad edifici in muratura o in calcestruzzo armato, così come meno oneroso potrebbe essere fronteggiare dei ponti termici. Tuttavia, la più grande sorpresa degli ultimi anni, è riconducibile alla capacità del legno di resistere al fuoco, peculiarità che nel passato costrinse a relegarlo da moltissimi regolamenti edilizi. Altri vantaggi che riguardano tale materiale sono da ascrivere alle sue proprietà fisico-meccaniche come la leggerezza, l'elasticità e la spiccata propensione all'assolvere le sollecitazioni sismiche.

Al quesito relativo allo scenario italiano ed al futuro del legno all'interno di una realtà come quella descritta, non vi è un'unica risposta, né tantomeno si tratta di un argomento semplice da trattare. Il legno, a differenza di altri materiali più consueti come il calcestruzzo piuttosto che l'acciaio, non viene prodotto in uno stabilimento, ma in un bosco, portando con sé tutta una serie di caratteristiche e problematiche spesso sconosciute al progettista, o più semplicemente al di fuori dell'interesse strettamente professionale.

Ciò malgrado, molto è stato fatto in questi ultimi anni, a partire dall'emanazione del 2008 del Decreto del Ministero delle Infrastrutture, si è cercato di ottenere un punto di partenza tramite uno strumento normativo che, seppur non perfetto, costituisce un riferimento che "accumuna" il legno ad altri materiali da costruzione da sempre presenti sulla scena del mercato italiano.

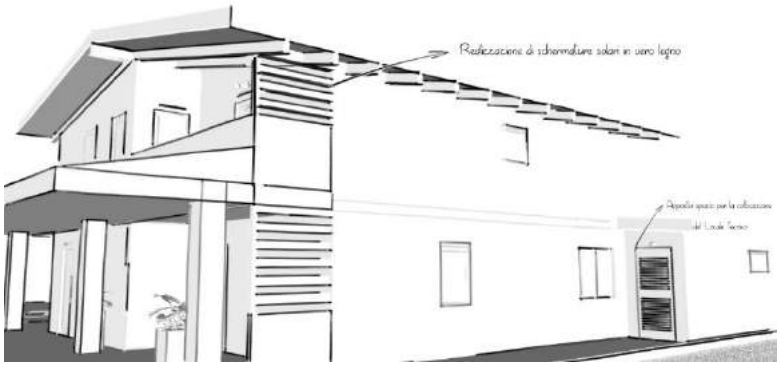
Oggi in Italia vi sono realizzazioni architettoniche in legno di oltre i 9 piani di altezza, seguite da altri progetti sempre più ambiziosi. Fondamentale risulta tuttavia, cercar di non cadere nel luogo comune che vede un gran numero di progettisti impegnati a gareggiare fra di loro, inseguendo un determinato record e tentando a loro volta il superamento continuo di questo, bensì sarebbe opportuno concentrarsi maggiormente sul processo progettuale e produttivo che ha reso il progetto fattibile. In definitiva, risulta sempre sbagliato tentare di fornire una "ricetta" progettuale univoca, in quanto ogni progetto necessita di una risposta specifica, legata alle particolarità dello stesso.

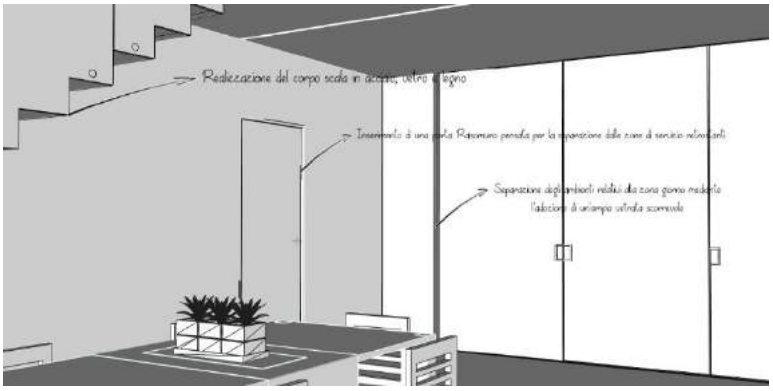
Per intraprendere la corretta strada, non bisogna mai dimenticare che è sempre all'uomo, abitante e fruitore al tempo stesso, a cui dovrà destinarsi l'intero progetto, la cui sostenibilità ambientale mai potrà esser dichiarata da una semplice etichetta "verde", ricordandosi al tempo stesso, che in alcune circostanze, le problematiche relative al legno non potrebbero sostituire l'utilizzo dei tradizionali materiali da costruzione.

4.2.2.3 Dall'Idea al Concept di progetto: la prefabbricazione intesa come incipit iniziale per i dati preliminari di progetto, volta alla definizione del rapporto Progettista-Committente, non privo di proposte e soluzioni alternative createsi lungo il percorso, con il fine di individuare quelle che meglio rappresentano le esigenze di entrambe le parti

L'idea iniziale di progetto, da cui si è partiti per il successivo sviluppo del Concept, consisteva nella realizzazione di una villetta unifamiliare, appositamente progettata per rispondere ad hoc alle esigenze della giovane coppia, desiderosa di poter fruire di più ampi spazi, specie considerandone l'eventuale arrivo di un primogenito, il quale potrebbe in tal caso disporre di un'apposita camera da letto.

- Figura 101: *Schizzi preliminari inerenti lo studio compositivo degli esterni*





- Figura 102: *Concept progettuale relativo alla distribuzione interna della zona giorno*

Sin dai primi incontri, è emersa come prerogativa fondamentale la ricerca di un luogo tranquillo, corredato da un ampio giardino esterno, arricchito dalla possibilità di poter esser fruito agevolmente anche nel caso in cui vi fosse un numero di ospiti relativamente importante. La predilezione per uno stile moderno, abbinato ad una chiara richiesta di ambienti ben illuminati, ha sin da subito, impegnato parte del Team alla ricerca di un prospetto importante, appositamente studiato ed in armonia con le superfici porticate esterne, ricercando al tempo stesso coerenza e continuità estetico-formale con gli interni, personalmente approfonditi e disegnati su misura, specie per quel che concerne la zona giorno, cuore pulsante dell'intera planimetria architettonica.

Ad ogni specifica richiesta da parte del Committente, corrisponde una mole di lavoro da parte del Progettista non indifferente, causata essenzialmente dal tentativo di poter soddisfare appieno le aspettative. Pur non essendo sempre possibile, l'abilità del professionista deve anche esser data dalla propria capacità di fornire una valida alternativa, lontana dall'esser colta come un ripiego. Rispetto al mondo dell'edilizia "tradizionale", dove spesso anche in fase d'opera cantieristica sono ammesse ed ammissibili variazioni impreviste, con l'adozione di moduli in legno prefabbricati, la maggiorparte del lavoro progettuale deve esser svolta prima dell'effettiva esecuzione nello stabilimento, per poi arrivare nell'area di progetto per assemblare e dar vita alle esecuzioni cantieristiche.

Conseguenza ovvia, una particolare attenzione va data sin dai primi incontri, alle decisioni intraprese da parte dell'utenza, accompagnando passo dopo passo il cliente nella scelta e nella definizione della propria abitazione, andando al contempo ad instaurare un rapporto di fiducia e reciproca collaborazione, il tutto, con un unico obbiettivo: il completo successo del progetto. Il dispendio iniziale di tempo, sarà tuttavia recuperato dall'effettiva esecuzione del progetto, vantando tempistiche di produzione ed assemblaggio di gran lunga inferiori rispetto ad altri metodi costruttivi, con grande soddisfazione di coloro che vi abiteranno.

Analizzando inoltre, l'evoluzione progettuale di tale caso studio, attività resa possibile dall'accurata documentazione prodotta, si è potuto redigere un vero e proprio cronoprogramma delle revisioni e degli incontri fissati, rendendo al tempo stesso d'immediata e semplice lettura il percorso intrapreso.

A partire dalle prime idee di progetto, risalenti a Febbraio del corrente anno, molto è stato il lavoro svolto al fine di poter trovare la soluzione attualmente proposta, tanto diversa quanto coerente con gli obbiettivi iniziali precedentemente pattuiti. Come in ogni progetto, è inevitabile dover applicare una metodologia diversa in base alle peculiarità dello stesso, in le variabili in gioco sono moltissime, a partire dalle richieste del Committente stesso, tuttavia, quello che invece mai dovrebbe cambiare, è la professionalità e coerenza nel fornire la propria consulenza tecnica, a costo anche a volte, di indirizzare il Cliente verso soluzioni alternative, rispettandone sempre la personalità ed esigenze espresse. Nelle specificità legate alla residenza di Fiano Torinese, la più grande variabile riscontrata in rapporto agli incontri iniziali, è stata data dall'ampliamento dimensionale subito, andando quasi a raddoppiare l'iniziale superficie abitabile interna. Gli attuali 248.5 m^2 di superficie interna lorda, hanno d'altro canto permesso la realizzazione di ampi spazi, specie considerandone l'eventuale impiego futuro. Oggetto di minori cambiamenti invece, ha costituito quel che concerne l'impronta estetica da fornire, segnata sin dagli inizi dall'adozione di un taglio progettuale moderno, spiccatamente *minimal* ed attento alle tendenze del mercato. In tale ambito, le variazioni apportate, hanno riguardato essenzialmente lo studio distributivo della zona notte, in particolare il rapporto fra gli spazi interni e la posizione dei serramenti

in facciata, con l'obbiettivo di andare ad ottenere funzionalità abitativa interna e coerenza stilistica nei prospetti esterni.

Durante il corso degli aggiornamenti, non sono mancati momenti professionali complessi, nonché situazioni dalla difficile e delicata gestione, specie a causa del proporzionale aumento dei costi iniziali in rapporto all'esponenziale aumento volumetrico dell'edificio. Tale caso specifico, ha permesso di comprendere come, proprio in situazioni particolari come quella presente, il *Know-How* del professionista deve emergere e venire a galla, al fine di poter proporre una valida alternativa, fornendo al contempo un compromesso accettabile da entrambe le parti, l'utente fruitore che pone una specifica domanda di mercato ed il professionista che è chiamato a dover proporre un'adeguata offerta.

Nello specifico caso, il compromesso a cui si è potuti giungere, ha considerato l'aumento dimensionale non come un problema a cui dover far fronte, bensì come una sfida progettuale a cui poter partecipare, fornendo alla giovane coppia, ampi spazi abitabili ma al contempo rispettando il budget economico iniziale, che spesso costituisce il problema principale e da cui qualsiasi scelta progettuale dipende. Si è intervenuti di conseguenza, sulla struttura portante dell'edificio, andando ad ottimizzare il rapporto fra costi e prestazioni, unito ad un'accurata selezione impiantistica, eliminando laddove non necessarie ad esempio, le predisposizioni impiantistiche, analizzando preventivamente le attività future all'interno di ciascuna stanza. Altresì, a livello stratigrafico, si è potuti intervenire riducendo leggermente gli spessori degli strati isolanti laddove non strettamente fondamentali, come nel caso dei locali tecnici o di servizio. Il raggiungimento di tale compromesso dunque, ha sottoposto l'intero staff professionale ad un surplus di lavoro ed accortezze, con l'obbiettivo di poter fornire al Cliente un prodotto, seppur bilanciato e rivisto in alcune scelte, dalle elevate performance energetiche e prestazionali, in linea con le certificazioni attuali e con gli standard di progettazione tipici di VASS Tecnologies, rivolgendo tali attenzioni ad un pubblico abbiente ed esigente.

- Figura 103: *Certificazione Energetica degli Edifici Residenziali – fonte: http://www.100casa.it/norme-e-fisco/le-sette-classi-energetiche-degli-edifici/*

Come spesso accade, la dedizione e ricerca del dettaglio, porta sempre a risultati tanto plausibili quanto evidenti, a dimostrazione dei quali, alla fine del mese di Settembre si è potuto procedere con l'invio dei documenti esecutivi di progetto e delle pratiche necessarie per l'inizio dei lavori, le cui tempistiche burocratiche, spesso comportano ulteriori incertezze e difficoltà nell'esatta definizione di un cronoprogramma coerente. Il successivo perfezionamento del progetto in corso, le cui specifiche progettuali e prestazionali saranno proposte nel paragrafo seguente, andrà ad occupare l'ultima fase di tale sviluppo, dominata dalla ricerca del dettaglio, del tipo di finitura che maggiormente rispecchia l'individualità del Committente, anticipando al contempo la vera e propria fase esecutiva, particolare momento nel quale, dall'ideazione del Concept iniziale alla redazione del documento ufficiale di progetto, si giunge all'effettiva realizzazione cantieristica *in loco*.

4.2.2.4 Descrizione del progetto

L'ultimo paragrafo della presente ricerca porrà l'attenzione sulla descrizione del progetto presentato, attraverso i disegni tecnici ed artistici, la percezione della qualità mediante i materiali utilizzati abbinati all'illuminotecnica d'interni, la definizione della struttura portante e del sistema costruttivo ligneo adottato, supportata da sezioni tecniche di dettaglio dei nodi strutturali maggiormente significativi. La presentazione delle prestazioni relative agli involucri opaco e trasparente, sarà seguita da quelle inerenti le caratteristiche termiche ed energetiche fondamentali, ordinate secondo i requisiti normativi richiesti e la presentazione dell'omonima certificazione. A completamento di quest'ultime, la ricerca dell'autonomia energetica tramite l'eventuale e possibile attrezzabilità impiantistica abbinata ai sistemi tecnologici impiegabili. In chiusura, le conclusioni finali, volte al concetto di sostenibilità ambientale e fattibilità economica del progetto e la relativa comparazione con i sistemi di costruzione tradizionali.

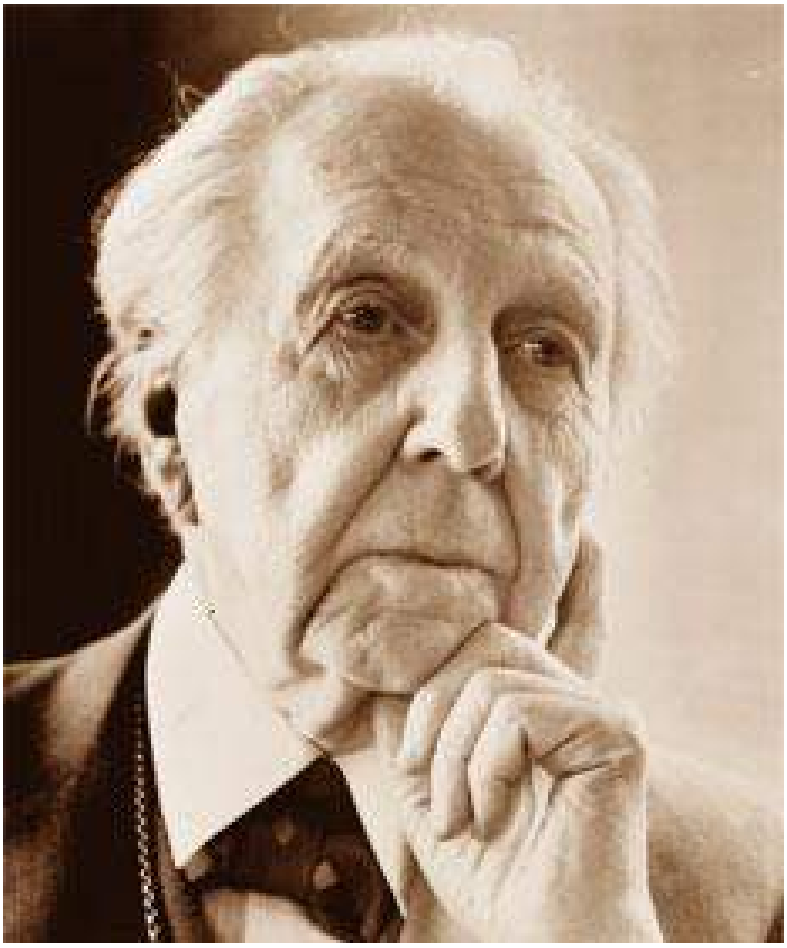
Tuttavia, soltanto entrando all'interno delle specificità architettonico-prestazionali dell'edificio, si può davvero comprendere come il materiale legno possa esser integrato perfettamente all'interno di un progetto, motivo per il quale il presente ed ultimo paragrafo pone l'accento sull'osservanza, quanto più da vicino possibile, del presente caso studio.

In termini di composizione planimetrico-distributiva, la residenza, sviluppata su due piani fuori terra, prevede una disposizione tendenzialmente tradizionale, privilegiando al pian terreno la luminosità degli spazi, la permeabilità fra interno ed esterno, abbinate ad una netta separazione fra la zona giorno ed i locali di servizio accessori, mentre al primo piano dominano l'intimità degli spazi uniti ad un ottimale sfruttamento delle funzioni abitative, peculiarità spesso appartenenti ad una zona notte.

A partire dall'ampio giardino esterno, impreziosito e reso pienamente fruibile dalle ampie zone porticate coperte, contesto in cui risalta in particolar modo, il desiderio dei Clienti per la realizzazione di una cucina completamente *en plein air,* si accede agevolmente all'interno dell'abitazione, mediante, oltre che dall'ingresso principale, da un'apposita portafinestra, preventivamente collocata in

corrispondenza della cucina abitabile. Il cuore pulsante del piano terra, come precedentemente accennato, è costituito dalla zona giorno, in particolar modo dall'imponente camino, il quale, oltre che dominare interamente gli spazi, ne caratterizza profondamente l'impatto stilistico attribuito.

Tematica ricorrente, sulla quale ci si potrebbe soffermare all'infinito, vanta una tradizione filosofico-costruttiva risalente ai primi anni del Novecento, della quale il noto Architetto statunitense Frank Lloyd Wright ne fu il precursore.



- Figura 104: *Ritratto del celebre Architetto Statunitense Frank Lloyd Wright – fonte:http://franklloydwright.org/*

Seppur appartenente ad un'altra epoca architettonica, Egli ne influenzò profondamente gli sviluppi, dal ricorso dei materiali naturali come il legno, sino al tema del focolare, inteso come fulcro di ogni composizione architettonica che si

rispetti, non mancano le analogie con quanto di più innovativo sia oggi presente sul mercato edilizio.

Analogie con illustri esempi architettonici a parte, anche all'interno della residenza insita a Fiano Torinese, è possibile riscontrare la particolare attenzione dedicata alla zona living, la quale caratterizzerà ed influenzerà al tempo stesso, l'interior design dell'edificio stesso. La permeabilità spaziale della presente zona, accentuata dal ricorso al vetro sia in parte per l'elemento scala, che per l'ampia vetrata in affaccio sulla cucina, si pone in netto contrasto con l'evidente separazione dagli spazi di servizio tradizionali, dal bagno di servizio alla lavanderia, dal ripostiglio sino a giungere ad un locale appositamente adibito a studio privato, si arriva infine all'autorimessa, in testa alla quale si può evidenziare inoltre, un ampio spazio riservato alla cantina, a sua volta adiacente al locale tecnico, importante sede d'ispezione impiantistica.

Tramite l'ampia scala posta in testa al salone, ulteriore elemento costitutivo del taglio stilistico attribuito alla presente progettazione d'interni, ci si lascia alle spalle i 124 m^2 relativi al piano inferiore, per poi accedere all'ultimo livello abitativo, interamente destinato alla zona notte. Anche le superfici, in tale sede, lasciano posto a dimensioni più contenute, come volessero comunicare esse stesse il senso d'intimità riscontabile. Interposto alle due camere singole, si può notare la presenza di un bagno tanto compatto quanto completo, mentre maggior respiro è stato dato alla sala da bagno con accesso esclusivo dalla camera padronale.

Il seppur piacevole, per quanto voluto senso di intimità trasmesso dagli 89 m^2 propri di tale livello, viene completato da un ampio vuoto su soggiorno, soluzione architettonica pensata al fine di poter godere, anche dal piano superiore, dell'ampia e luminosa sottostante area diurna.

Seppur di minor importanza rispetto a quanto richiesto per il pian terreno, esplicita è stata la necessità dimostrata dalla giovane coppia di poter goderne anche al livello superiore, di un piccolo terrazzo, comodamente accessibile dalla camera padronale, accorgimento funzionale che si è inoltre dimostrato determinante nella definizione del design prospettico di facciata.

Come spesso accade, ad un accurato studio volumetrico e distributivo, sempre più sovente occorre definire sin da subito quale caratterizzazione estetico formale attribuire all'intera progettazione architettonica, dove, unitamente ai gusti personali del fruitore, occorre indirizzare con chiarezza il taglio stilistico da perseguire.

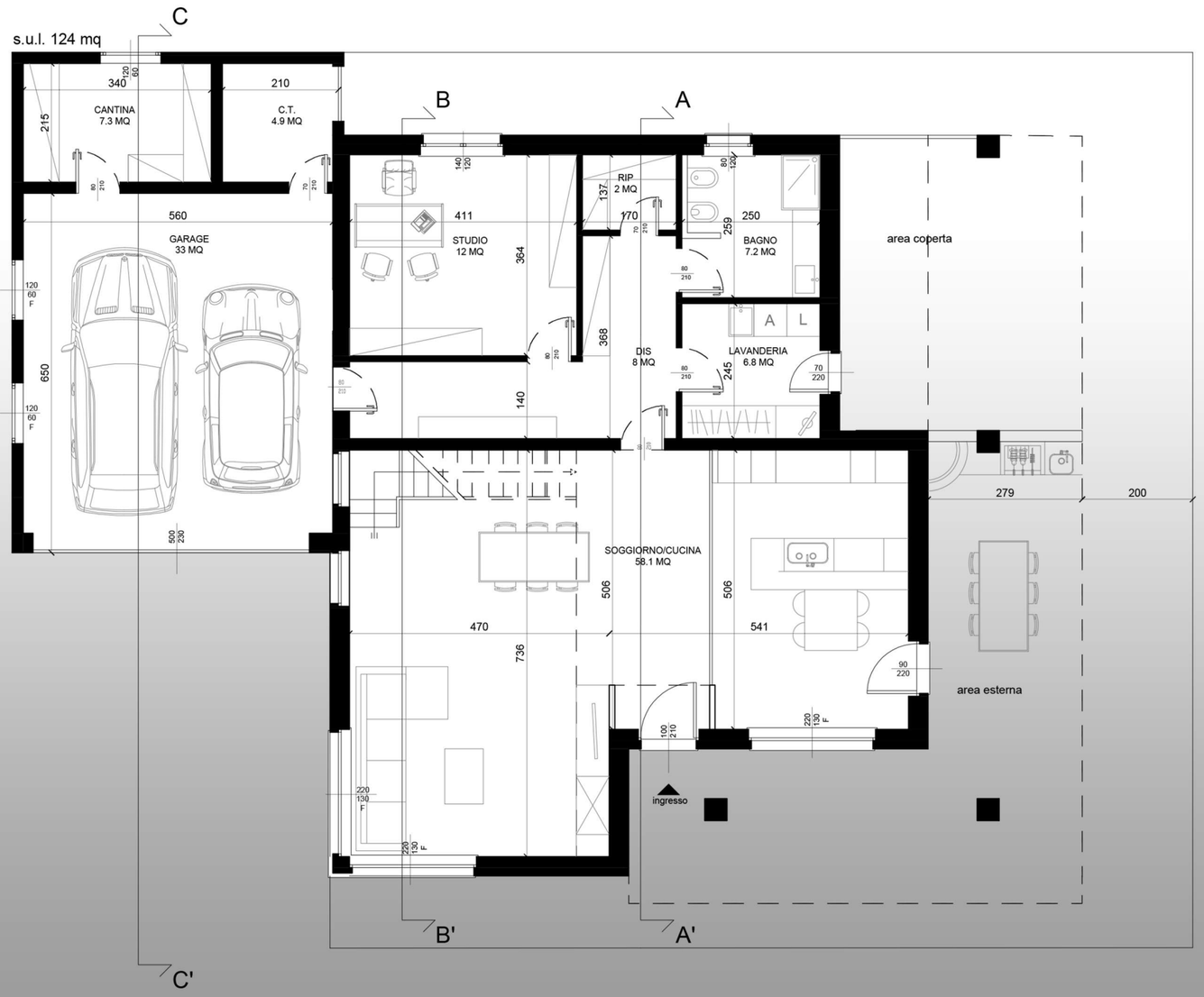
Anche in tale occasione, se per la zona giorno si è ricorso agli effetti pietra e cemento, presentati su lastre in gres porcellanato di grande formato, sapientemente abbinate all'adozione del vetro, per il livello superiore si è, seppur con coerenza di continuità, pensato alla realizzazione di un ambiente maggiormente volto al calore ed all'accoglienza, prediligendo ad esempio, l'effetto legno per la pavimentazione. Tali scelte, hanno contribuito di conseguenza alla definizione di un ambiente urbano ricercato, ma non per questo freddo né privo di personalità, con il grande vantaggio di poter usufruire di un materiale altamente resistente e dalla ridotta manutenzione.

Strettamente legato è inoltre lo studio illuminotecnico, caratterizzato dall'alternanza di corpi illuminanti ad incasso ad altri appositamente realizzati per l'ottenimento di una fonte di luce indiretta, volta all'esaltazione geometrica delle linee architettoniche, pur partendo dal comune principio di andare a collocare i punti luce proprio laddove occorrono, distribuendoli di conseguenza in relazione alle attività svoltesi all'interno degli spazi abitabili. Attività immediatamente successiva è risultata inoltre, la ricerca del medesimo connubio fra materia e luce, design e funzionalità riscontrabili all'interno, anche per quanto riguarda gli spazi esterni, "giocando" con il colore dell'intonaco per le pareti, adottato nei toni del grigio più o meno intenso, per giungere in seguito alla definizione del colore bianco per i serramenti esterni, ben supportato dal distacco cromatico delle tegole di color grigio antracite. Infine, seppur spesso trascurati, lo studio illuminotecnico relativo agli spazi esterni, abbinato ad una corretta scelta della piantumazione per il giardino, sino a giungere a dettagli come quelli relativi alla recinzione del lotto, devono esser elementi perfettamente integrati con il progetto, in quanto, è proprio da un particolare che può emergere la personalità tanto del Committente, quanto del Professionista impegnato nella realizzazione di un progetto davvero degno di esser definito completo ed esaustivo.

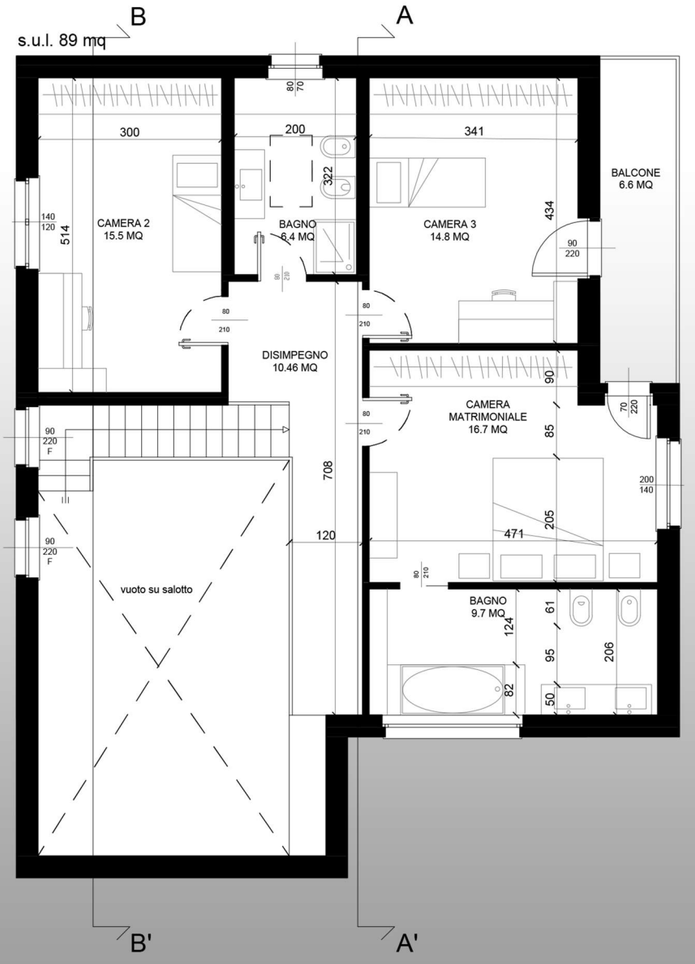
Se da un lato, il Cliente pone particolare attenzione, come sopra evidenziato, per quel che concerne gli aspetti legati al mondo delle finiture, dimostrando interesse, partecipazione ed espressione creativa e personale, d'altro canto, quando è chiamato a scegliere quel che riguarda la struttura portante dell'edificio, piuttosto che privilegiare determinate performance energetiche della propria residenza, complice anche l'entrata in gioco delle complesse conoscenze tecniche tipiche di un professionista del settore, spesso vi è la tendenza a lasciar intendere al progettista ciò che è meglio privilegiare rispetto ad altro.

Nello specifico, è proprio in tali circostanze che uno specialista dovrebbe poter al meglio esprimere le proprie competenze in materia, specie considerando il fatto che, dietro a qualsiasi prodotto edilizio, sono proprio la struttura portante e le relative performance energetiche che ne identificano l'identità e la qualità globale percepita.

Come da tradizione VASS, anche mediante l'ausilio fornito dalle tavole di progetto sottostanti, si potrà notare con chiarezza come gli elementi portanti siano completamente costituiti da moduli stratigrafici prefabbricati e preassemblati in stabilimento, scomponibili inoltre in relazione alle esigenze d'esercizio, tecnologia applicata ed applicabile a tutti gli elementi costitutivi dell'involucro strutturale. Ulteriore prova dell'effettiva qualità riscontrabile in modo esteso in tutti i campi d'applicazione, è data dall'adozione di un legno lamellare in abete di prima scelta, rigorosamente corredato dalla certificazione ambientale FSC.

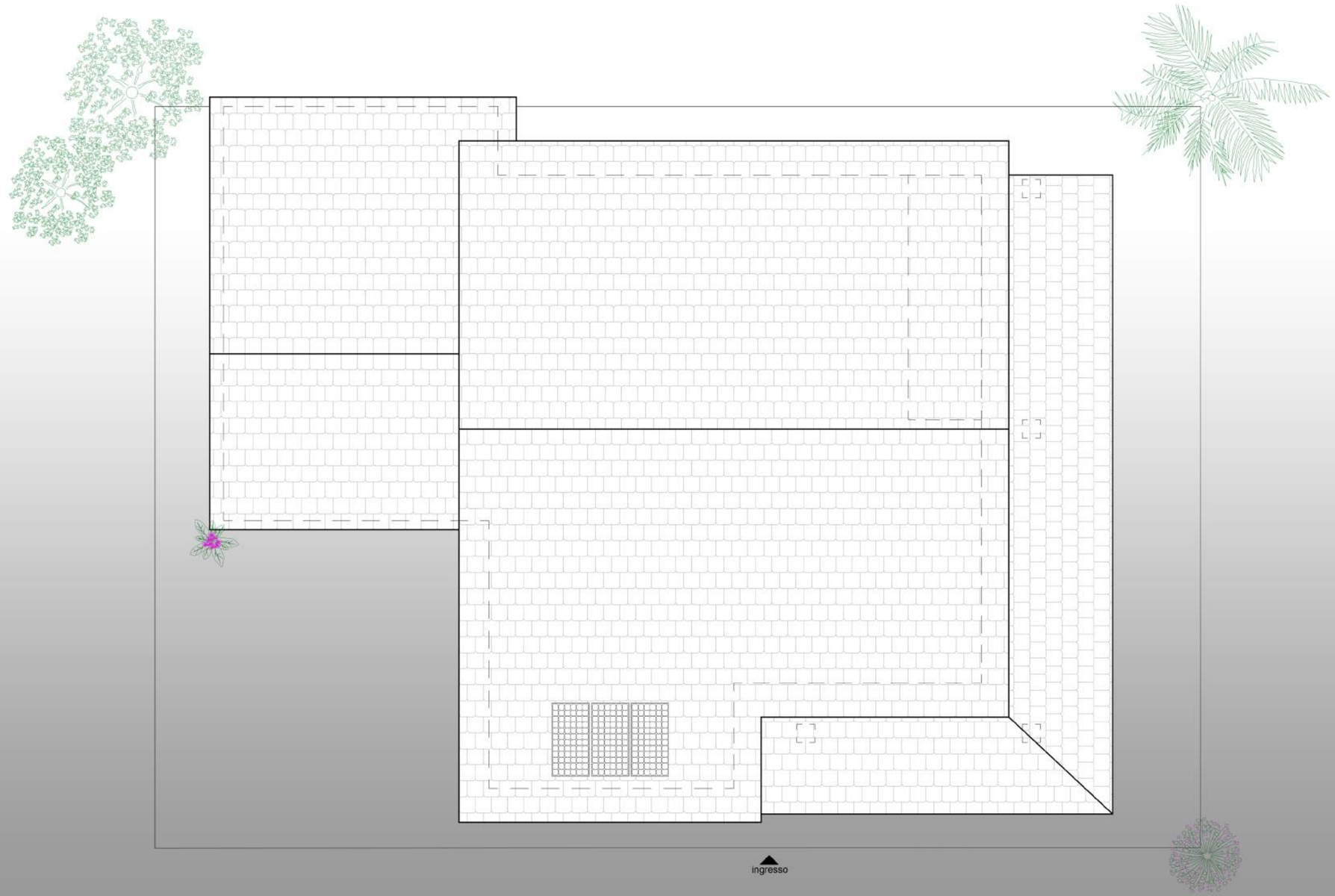


PIANTA PIANO TERRA
Scala 1:100

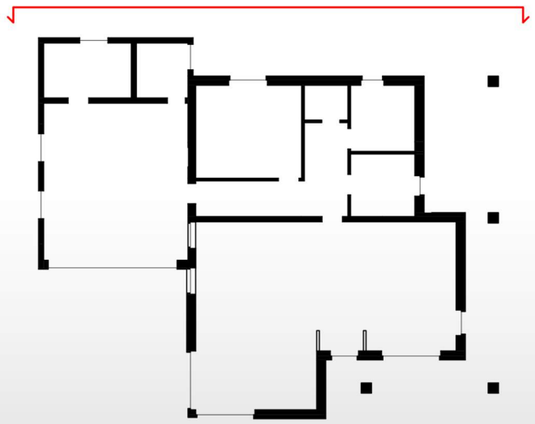


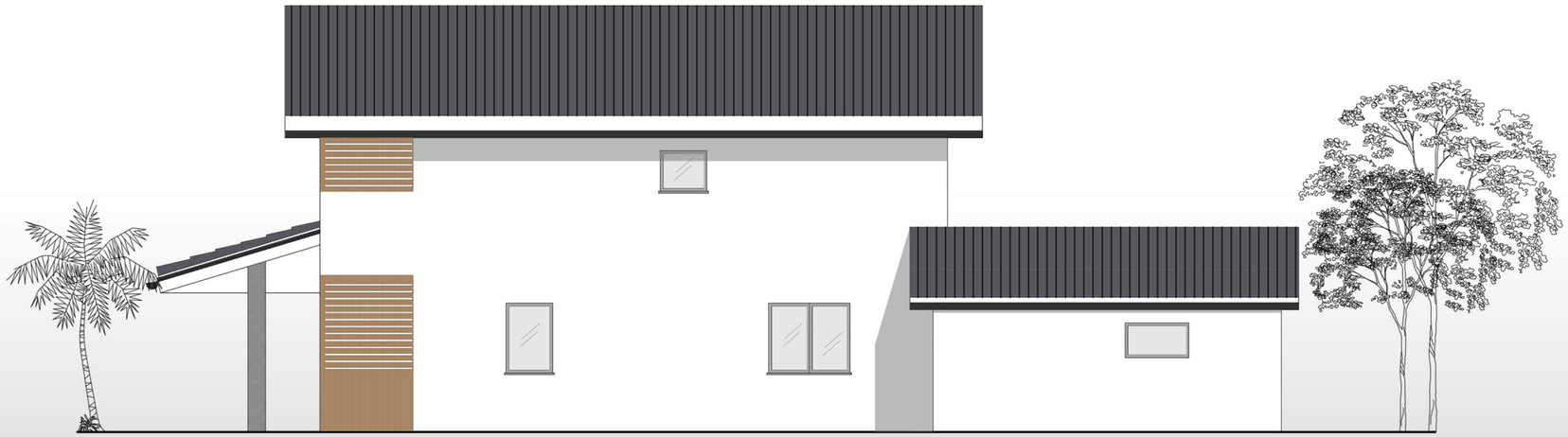
PIANTA PIANO PRIMO
Scala 1:100

0 100 200 300 400 500 1000 cm

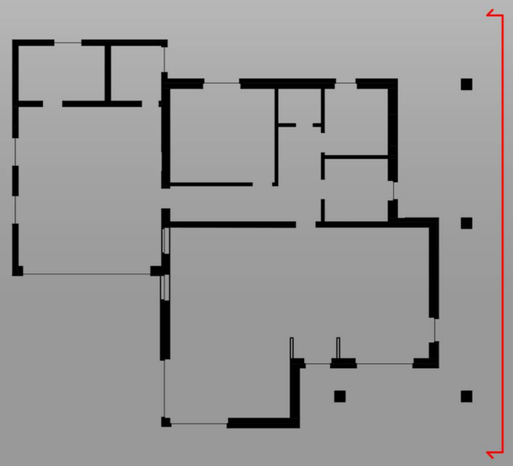


PIANTA COPERTURA
Scala 1:100

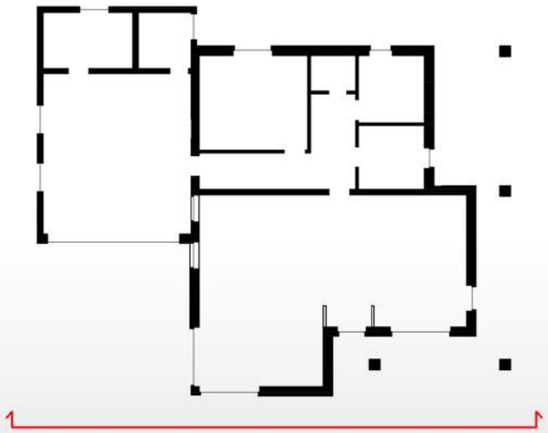




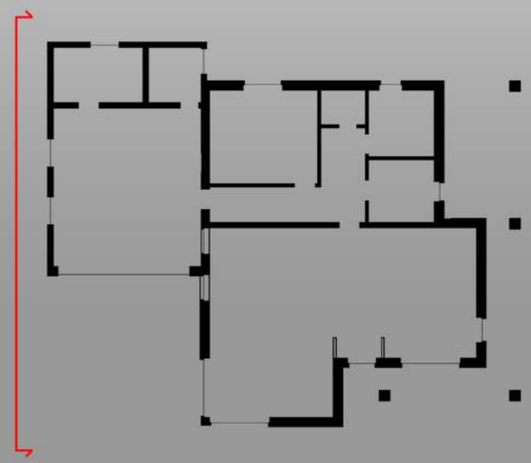
PROSPETTO NORD
Scala 1:100

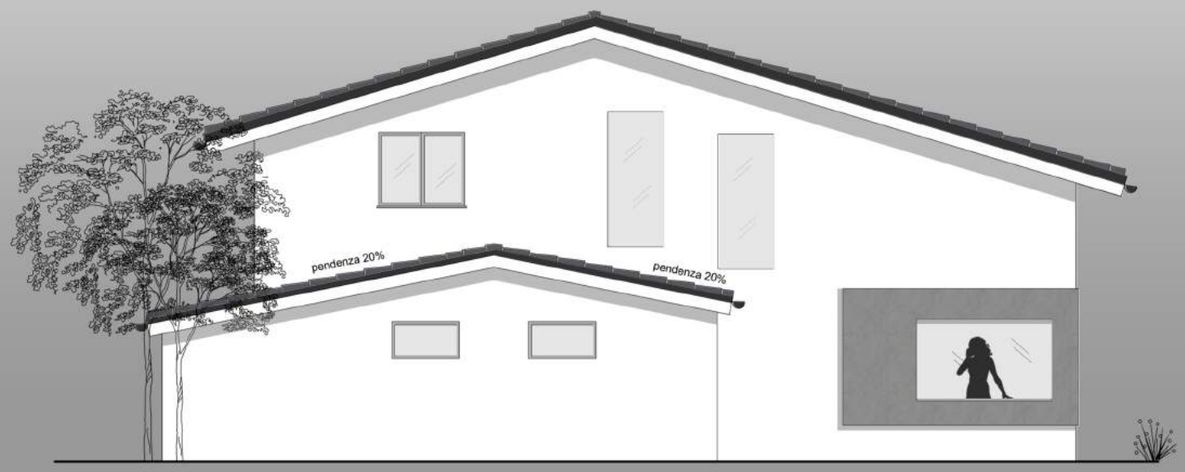


PROSPETTO EST
Scala 1:100

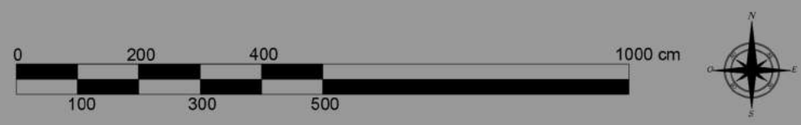


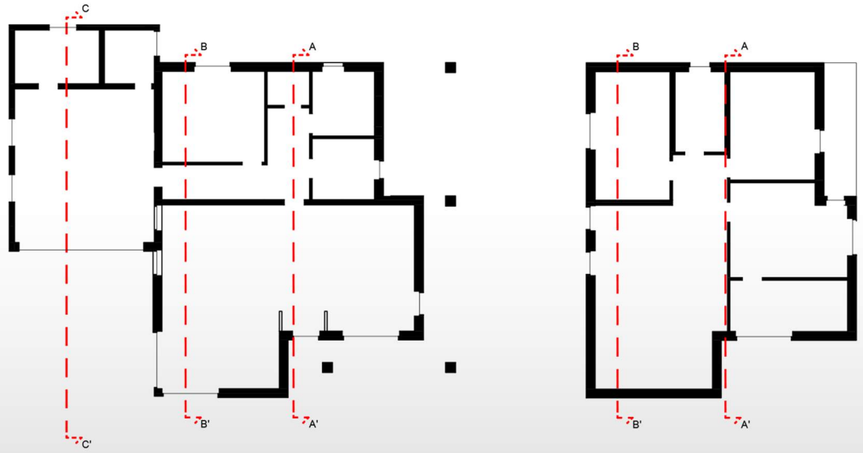
PROSPETTO SUD
Scala 1:100

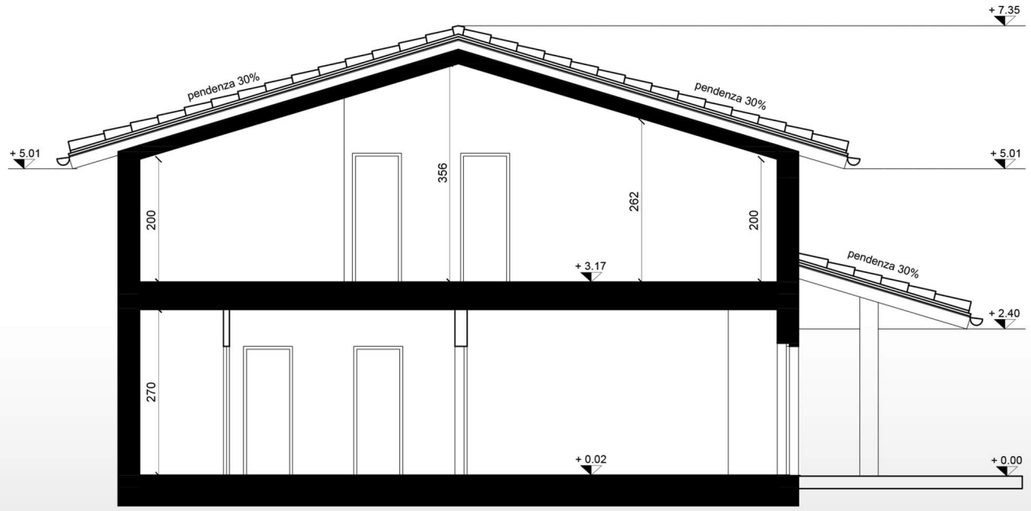




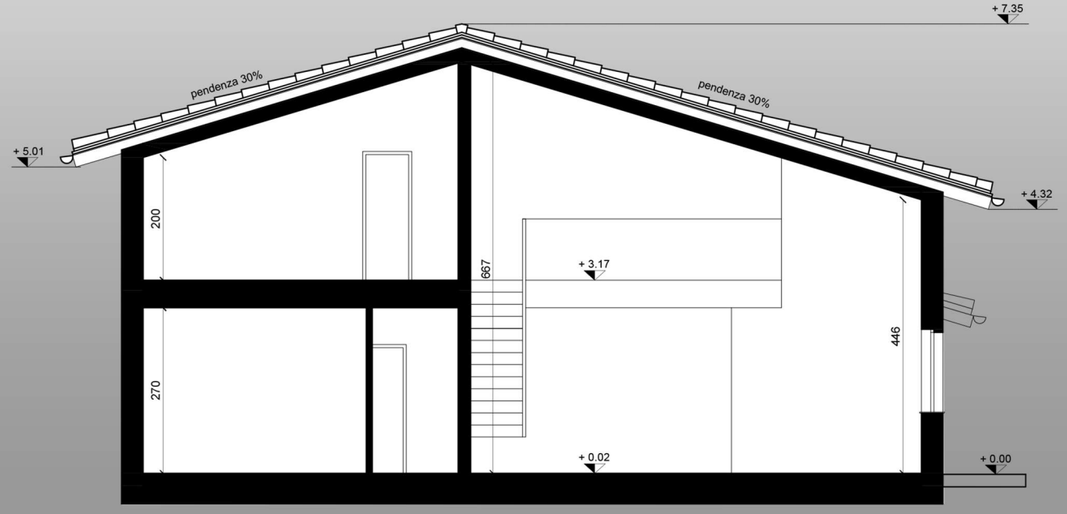
PROSPETTO OVEST
Scala 1:100



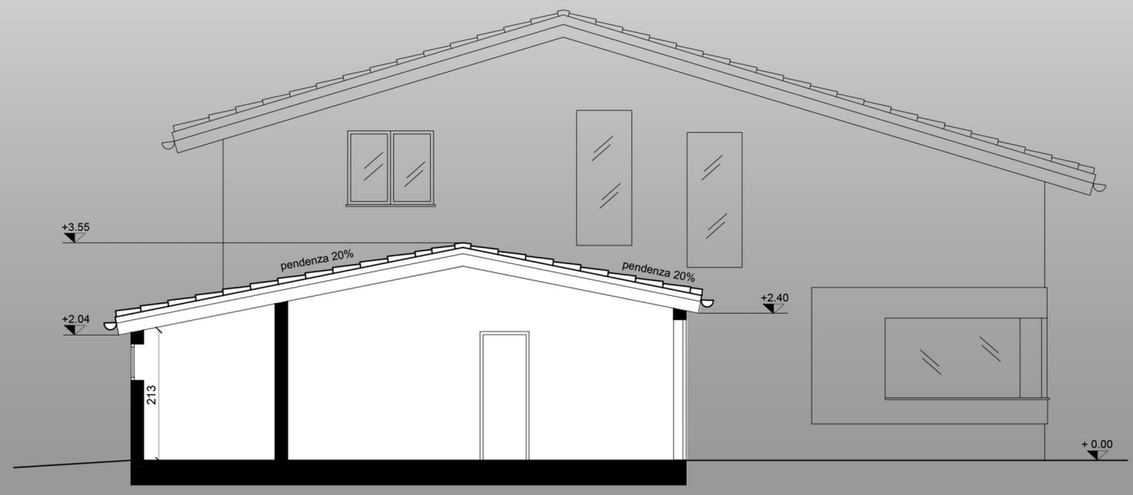




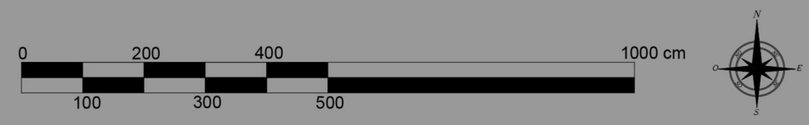
SEZIONE AA'
Scala 1:100

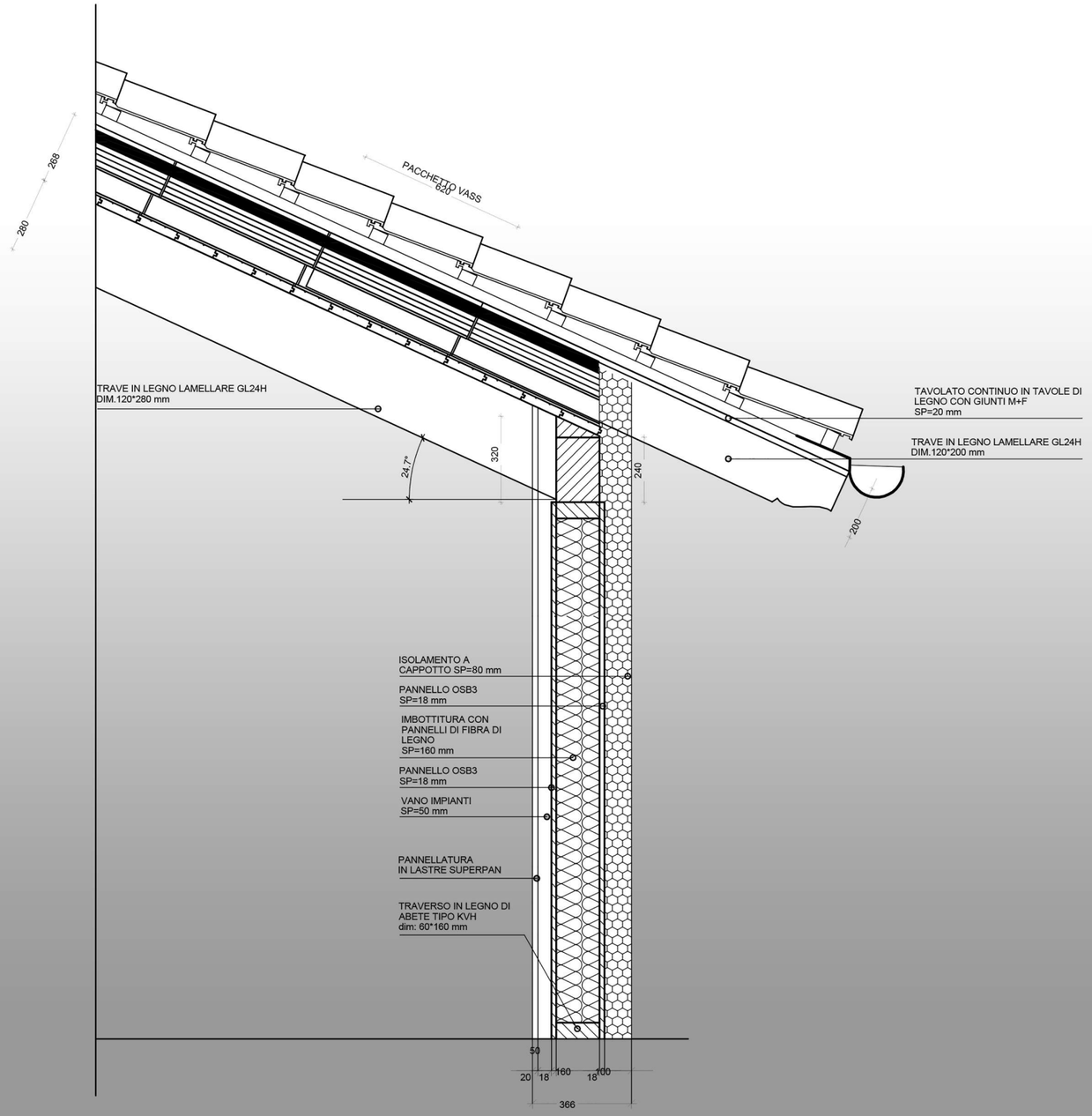


SEZIONE BB'
Scala 1:100

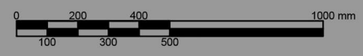


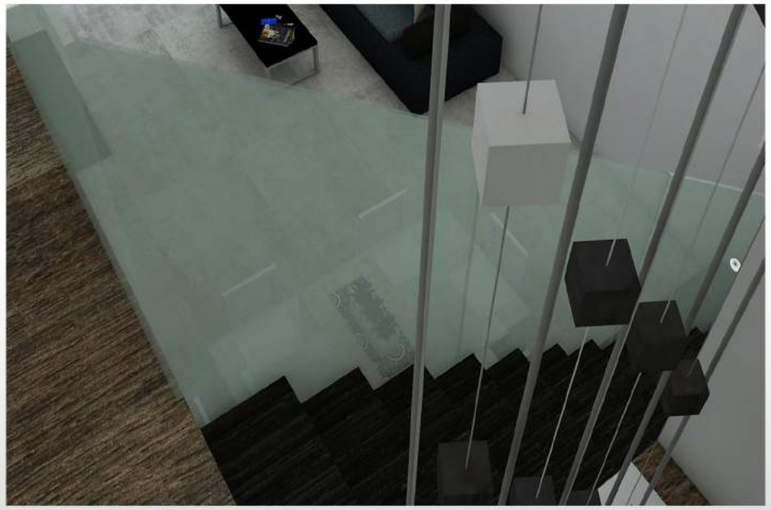
SEZIONE CC'
Scala 1:100

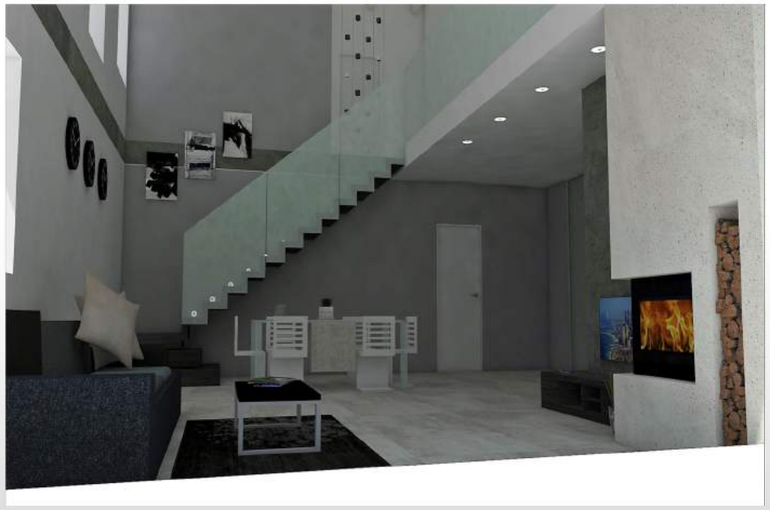




PARTICOLARE COSTRUTTIVO
NODO PARETE-COPERTURA
Scala 1:20





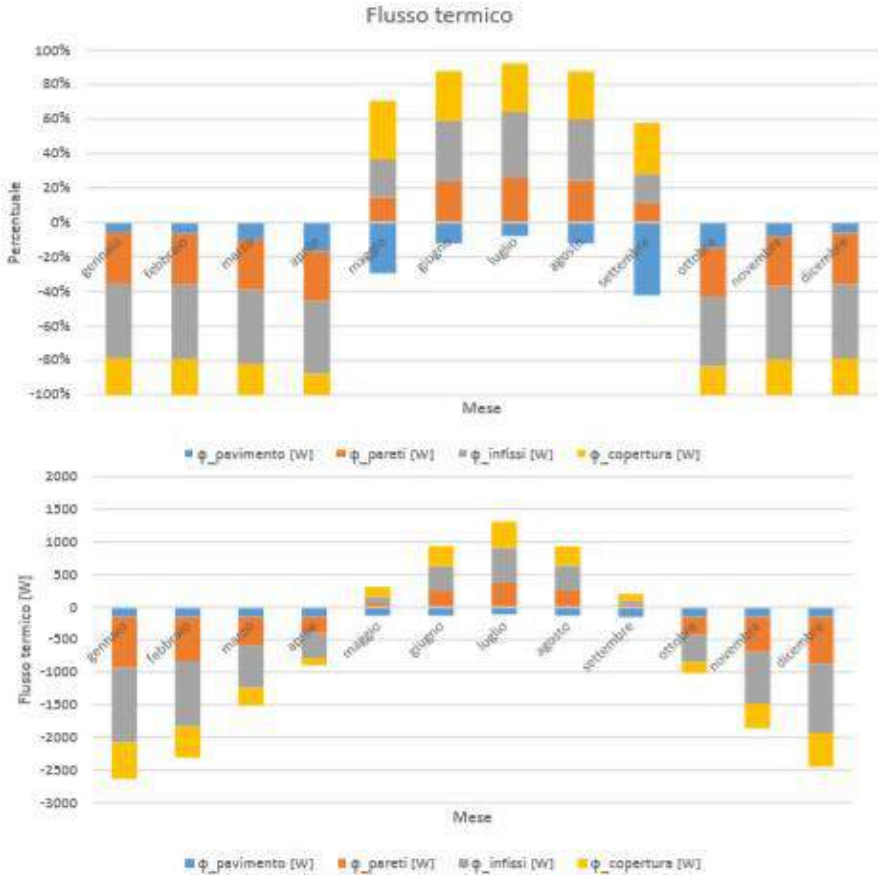


RENDER INTERNI

RENDER ESTERNI

Tuttavia, una corretta ed accurata progettazione dell'involucro edilizio, seppur fondamentale, da sola non basta per poter individuare un prodotto realmente performante. In un progetto bilanciato, di particolare importanza dovrebbe esser infatti la scelta equilibrata di tutti gli elementi che concorrono alla definizione di un insieme architettonico coerente ed accuratamente realizzato.

La villa oggetto di analisi, a dispetto dell'ampia superficie disperdente, complici anche i quasi 50 m^2 del solo involucro esterno trasparente, vanta prestazioni energetiche di rilievo, con un involucro certificato in Classe B ed un consumo effettivo di appena 36,93 kWh/m^2. Il calcolo di tali parametri, sviluppato attraverso appositi software specializzati, considera inoltre la zona climatica d'intervento, che nello specifico caso di Fiano Torinese, presenta un'elevata escursione termica, con cicli stagionali particolarmente differenziati. Analizzandone infatti in dettaglio, tramite appositi Software di calcolo, il flusso di scambio termico ottenuto, si possono dedurre, utilizzando i dati relativi all'irradiazione giornaliera media mensile e considerandone tanto il flusso di ventilazione quanto quello di trasmissione, costi annuali di energia primaria per il riscaldamento relativamente bassi, attestandosi su un valore di Euro 1.533,23, particolarmente competitivo specie in relazione, come precedentemente affermato, tanto agli ampi volumi abitabili quanto alle generose aperture presenti in facciata ed alla particolare geometria compositiva.



- Figura 105: *Flusso termico dell'involucro edilizio espresso in Percentuale ed in Watt*

Strettamente connessa inoltre alle performance dell'intero manufatto edilizio, la scelta degli infissi, specialmente quelli sull'esterno, che nello specifico del presente caso studio prevedono una notevole incidenza tanto in termini di costi, quanto per quel che concerne le prestazioni termiche ed energetiche complessive. Ad una prima propensione per l'adozione del telaio in legno-alluminio, si è poi giunti alla decisione di adottare la tipologia in PVC, con evidenti benefici in termini di costi, seppur non compromettendo più di tanto i valori caratteristici di riferimento, ottenendo una trasmittanza media pari a 1,30 W/m^{2}K. L'adozione al 90% del gas argon all'interno del vetro camera, unita alla caratterizzazione delle finiture esterne, con telaio in color Bianco Massa e maniglie in alluminio naturale, completano la presente scelta, a complemento della quale si è, in un secondo momento, optato per l'aggiunta di una finestra da tetto fornita dalla nota casa produttrice Velux, di tipo manuale, con finitura in legno naturale all'interno, alluminio per il rivestimento esterno e tecnologia basso emissiva per il vetro.

Per quel che concerne i serramenti interni, più che alle performance termico-energetiche, ampia scelta è stata fornita al Cliente, in luce alla sempre più evidente considerazione che associa la porta interna ad un'oggetto di design, capace di caratterizzare nettamente l'ambiente intorno al quale essa stessa viene posata. Ancora una volta, la scelta finale è stata dettata da un approfondito studio, all'interno del quale sono susseguite alternative e soluzioni differenti, sino alla determinazione del prodotto finale, caratterizzato a sua volta da un'ampia varietà tanto per la tipologia di apertura, quanto per le finiture scelte.

Al posto delle comuni porte battenti, si è optato, laddove necessario, per serramenti di tipo scorrevole a scomparsa, mentre per la separazione fra il soggiorno e la cucina, si è appositamente pensato alla realizzazione di un'ampia vetrata scorrevole a rasomuro, il cui importante costo, verrà in parte ricompensato dal carattere che tale soluzione è in grado di conferire alla definizione stilistica dell'intera zona abitativa. A completamento di quanto esplicato, l'alternanza di porte piene dal design minimalista, all'adozione di soluzioni interamente in vetro, accomunate al tempo stesso da dettagli di qualità quali cerniere di tipo Anuba e ricercata maniglieria in cromo satinato, contribuiscono esponenzialmente alla definizione di un'ambiente ricercato e curato sin nei minimi particolari.

Infine, ai già ottimi risultati termico-energetici raggiunti, l'eccellenza a cui tale edificio aspira, è stata resa possibile con un ultimo complesso studio, quello inerente la scelta impiantistica da adottare. Prima di poter giungere a quest'ultimo comparto del mondo dell'edilizia, occorrono alcune precisazioni in merito.

Come spesso accade, il risultato finale delle performance di un edificio, è dato dall'unione delle prestazioni dell'involucro opaco, unite a quelle relative agli impianti accessori ed all'impattante incidenza della superficie trasparente, data dalla scelta degli infissi esterni.

In molti casi, vi è il ricorso all'erronea tendenza di abbinare, ad un involucro edilizio non così accuratamente progettato, soluzioni impiantistiche piuttosto che serramenti esterni particolarmente costosi e performanti, con conseguenze negative tanto in termini di costi quanto per quel che concerne l'equilibrio globale del manufatto edilizio, ottenendo di conseguenza un rendimento effettivo molto

lontano dalle aspettative iniziali. Seppur più raramente, lo stesso discorso potrebbe esser valido anche nel caso opposto, ove ad un involucro particolarmente performante si abbinano scelte non altrettanto equiparabili. A corredo dell'involucro edilizio presente, si è infatti pensato di migliorarne ulteriormente il livello di performance termico-energetico, mantenendo al tempo stesso coerenza con l'assetto globale dell'edificio.

Per l'impianto di riscaldamento, così come per quello di raffrescamento, si è optato per la tipologia radiante a pavimento, caratterizzata da un sistema termoformato resistente e versatile, implementata da una lastra isolante in EPS sinterizzata con graffite, ottenendo di conseguenza una soluzione "bugnata" ideale per pavimentazioni a media inerzia.

Se per quanto riguarda il sistema di ventilazione si è appositamente pensato ad un'unità interamente dedicata al recupero del calore, per il controllo e la regolazione della temperatura interna si è optato per un particolare sistema, basato essenzialmente, sulla regolazione climatica dinamica, adeguando in tal misura, l'apporto di calore al fabbisogno termico dell'edificio, godendo sempre delle migliori prestazioni in termini di comfort. Inoltre, la gestione differenziata della temperatura fra la zona giorno, la zona notte, il piano interrato ed infine il locale sottotetto, permette al meglio di soddisfare le personali esigenze di ogni occupante.

Per l'impianto elettrico inoltre, l'adozione della componentistica VIMAR, abbinata al pieno rispetto della normativa UNI 64-8, hanno consentito di andare a realizzare un totale di ben 26 punti luce, suddivisi fra interno ed esterno, vantando un sistema di illuminazione interamente a LED, comprensivo dei corpi illuminanti appositamente sviluppati secondo il calcolo illuminotecnico curato dai tecnici di VASS.

In analogia a quanto sopra descritto, particolare attenzione è stata inoltre prestata per quel che concerne l'impianto idraulico ove, al compito di trattare l'acqua calda sanitaria, viene associata una pompa di calore unica, costituita da un'unità interna ed una esterna. Per i 17 punti d'acqua, si è previsto inoltre un sistema di adduzione della stessa comprensivo di colonne e due punti d'acqua solo per l'esterno

dell'edificio, il quale è inoltre caratterizzato dall'interramento di una cisterna per la raccolta dell'acqua di ben 5000 litri.

A completamento delle performance termiche ed energetiche della residenza, si è inoltre optato per l'adozione di un camino di tipo eco monoblocco in ghisa, prodotto dalla nota azienda italiana Palazzetti. Caratterizzato da una doppia combustione, prevede una porta in vetro ceramico dall'apertura a scorrimento, dotata del sistema brevettato VDF per una gestione ottimale del tiraggio ed una conseguente riduzione dei consumi.

Dati abitazione VASS		
Indirizzo		
Città		Fiano
Provincia		TO
CAP		10070
Zona climatica		E, F
Gradi Giorno		2778
Temperatura di Progetto		-8,0 °C
Involucro		
Tetto coibentato	Metratura	150,35 mq
	Trasmittanza	0,21 W/mqK
Metratura tetto non coibentato		128,01 mq
Parete esterna isolata portante	Metratura	272,92 mq
	Trasmittanza	0,16 W/mqK
Parete interna non isolata portante		51,34 mq
Parete smart closet		11,10 mq
Parete divisoria		53,82 mq
Parete divisoria isolata		62,76 mq
S.L.P		248,50 mq
Solaio		125,50 mq
Pavimento controterra	Metratura	123,00 mq
	Trasmittanza	0,16 W/mqK
Balconi e terrazzi		6,90 mq
Volume lordo		883,00 mc
Punti ACS		17
Punti luce		26
Infissi		
Infissi esterni	Metratura	47,73 mq
	Trasmittanza media	1,30 W/mqK
Infissi interni		21,63 mq

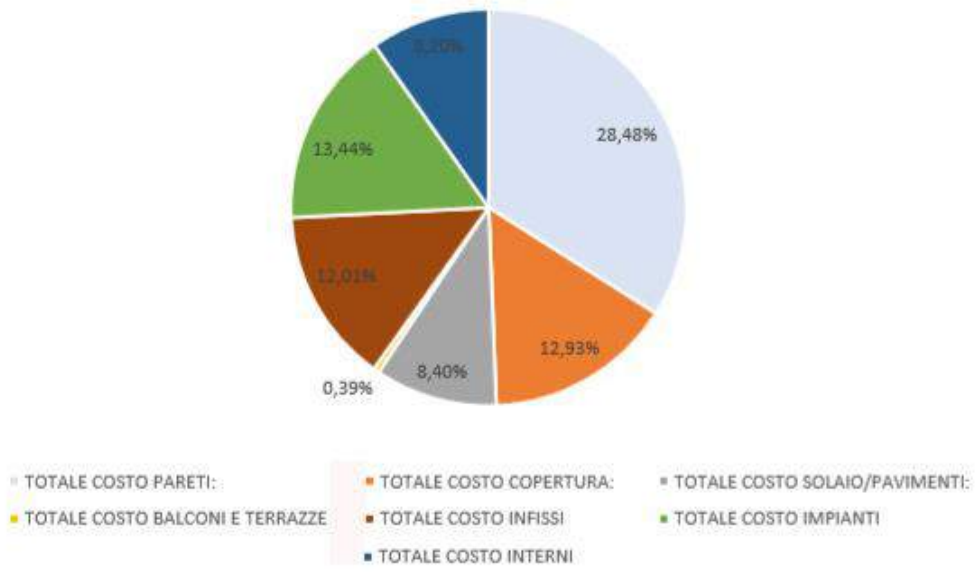
Prestazione energetica		
Epi involucro		36,93 Kwh/mq
Classe involucro		B
EP globale stimato		102,83 Kwh/mq
EPi		71,54 Kwh/mq
EPe		19,77 Kwh/mq
EPacs		11,52 Kwh/mq
Taglia stimata pompa di calore		10,00 kW
Impianti		
Riscaldamento-Raffrescamento	Radiante pavimento	Bugnato
Generazione e ACS	Pompa di calore	Riscaldamento + ACS
Ventilazione	Sistema di ventilazione con recupero calore	
Controllo-regolazione	Standard	
Impianto idraulico		
Impianto elettrico		

- Tabella 4.2.2.4.1: *Tabella preventiva contenente tutti i dati di base dell'abitazione VASS oggetto di analisi. Nello specifico vengono presi in considerazione l'involucro, gli infissi e le prestazioni energetiche comprensive delle applicazioni impiantistiche presenti*

L'atto finale di tale percorso, è costituito come di norma, dall'accettazione da parte della Committenza del preventivo finale, in seguito al quale occorre l'affermazione da parte dell'ufficio tecnico di competenza per l'esecuzione effettiva del progetto proposto. A tali delicate operazioni, risultano strettamente connesse tutte quelle logiche intrinseche ad ogni progetto, fonte di ragionamenti complessi ed accurati studi di fattibilità. Alla luce di tali riflessioni, risulta naturale confrontarsi con gli aspetti inerenti la sostenibilità ambientale, specie nell'ottica di un futuro riutilizzo

dell'area, piuttosto che di una completa disassemblabilità del manufatto architettonico progettato.

Seppur affrontata a fine capitolo, di fondamentale importanza risulta esser la tematica inerente i costi, specie considerandone la percentuale d'impatto di ogni singola voce analizzata. Come dettagliatamente sottolineato dal grafico sottostante, la quota parte maggiore, in termini di incidenza economica, è data dalla realizzazione dei moduli parete prefabbricati, ai quali segue l'importante esborso considerato per il totale degli infissi esterni. Per differenza, si ottiene, analizzando il grafico proposto, un'incidenza restante suddivisa essenzialmente dai costi relativi alla copertura e da quelli inerenti le soluzioni impiantistiche adottate. Seppur di minor entità, non è trascurabile infine, l'incidenza generata dalla realizzazione del solaio, al quale seguono i conteggi destinati alla personalizzazione degli interni.



- Figura 106: *Grafico relativo all'incidenza delle componentistiche primarie sul costo dell'intervento globale, a seguito di un'approfondita analisi da parte dell'Azienda Vass Technologies*

In definitiva, soltanto dopo aver analizzato a fondo il presente caso studio, soffermandosi su ogni aspetto meritevole di attenzione, si può affermare di poter inquadrare lo stesso sotto diversi punti di vista, evidenziandone tanto gli aspetti positivi quanto le ombre, inevitabilmente presenti.

Grazie alla presenza all'interno del VASS Team di una figura professionale competente in materia economico-finanziaria, si è potuto comprendere come in media, l'esborso sul totale del 10% superiore rispetto al ricorso di un sistema costruttivo tradizionale, viene generalmente ammortizzato all'interno di un *payback period* relativamente contenuto, affermazione tanto valida quanto non sempre del tutto riconducibile all'interno di uno standard, complici soprattutto le molteplici variabili in gioco che possono presentarsi in una realtà come quella edilizia.

Espandendo il discorso oltre il confine puramente economico, la propensione verso il legno come materiale da costruzione, potrebbe costituire un'ampia selezione di punti a favore verso lo stesso, che, come cercato di dimostrare attraverso il presente lavoro di tesi di laurea, se ben ricondotti all'interno di un'ottica complessiva di analisi, potrebbero contribuire allo sviluppo ed alla ricerca tecnologica di tale materiale all'interno del mondo dell'Architettura Contemporanea, spesso condizionata dall'ostinazione del Progettista al ricorso di materiali sempre più tecnologicamente avanzati e dello stupore totale da parte dell'utente, ponendo inevitabilmente in secondo piano l'equilibrio globale del prodotto, il rapporto con l'uomo e con l'ambiente che lo circonda, che ci, circonda.

A conclusione del percorso intrapreso, si è potuto comprendere come, l'adozione del legno nell'edilizia residenziale, spesso può includere un ampio range di scelte individuali e possibili soluzioni, che, soltanto con un'accurata selezione ed analisi delle stesse, si possono raggiungere gli obbiettivi necessari all'affermazione di un progetto equilibrato ed attento agli sviluppi relativi al concetto di sostenibilità. Seppur non privo delle problematiche intrinseche alla natura stessa del materiale, pertanto risolvibili attuando appositi accorgimenti costruttivi, il legno si è dimostrato, specie negli ultimi decenni, capace se non di sostituire completamente, di esser preso in considerazione come valida alternativa ai più tradizionali materiali da costruzione, facendo registrare elevati standard progettuali attraverso manufatti architettonici d'alto design e completamente personalizzabili. La connotazione relativa alla pratica progettuale presentata, è stata pensata inoltre con l'obbiettivo di poter osservare realmente quanto dedotto dalla teoria, fornendo un seppur ridotto, contributo all'interno del mondo dell'Architettura.

BIBLIOGRAFIA:

- Consultazione di elaborati scritti (Libri, Articoli, Saggi, Tesi di Laurea, Riviste, File Pdf) individuati Online
- Consultazione diretta e fisica degli elaborati

Capitolo 1.

- Tenuta Paolo, *Indici e modelli di Sostenibilità*, Milano, Franco Angeli Edizioni, 2009;
- Senatore Gianluca, *Storia della sostenibilità. Dai limiti della crescita alla genesi dello sviluppo*, Milano, Franco Angeli Edizioni, 2013;
- Allen Giancarlo, *Valutazione, selezione e certificazione dei materiali per la bioedilizia*, tratto da: *Qualità del costruire con tecniche e materiali biocompatibili*. *Atti dei seminari di formazione "In-Bioedilizia",* Edicom Edizioni, 2002;
- Antoniazzi Silvia, *Tecnologie e Industrie del Legno. Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno*, rel. Mirto Antonel, correl. Brunetti Michele;
- Vittorio Manfron, Mucelli Giovanni, Paganuzzi Patrizia, Sinopoli Nicola, Tatano Valeria, *Costruire il Progetto Sostenibile*, 2006;

- Tulliani Jean Marc, *Sostenibilità di processi e prodotti nei materiali per l'Architettura*, Politecnico di Torino, 2018;

Capitolo 2.

- Gambiasio Francesca, *Architettura Ecosostenibile*, rel. Spinelli Mario Luigi, correl. Croce Barbara, Verga Alessandro;
- Bernasconi Andrea, *L'uso del legno nelle Costruzioni. Protezione del legno*, promolegno;
- Bianco Giulia, *Costruire con il Legno. Nuovi sistemi tecnologico – costruttivi applicati alle sopraelevazioni*, rel. Caldera Carlo, Gianolio Giuseppe;

- Ceccotti Ario, Follesa Maurizio, Lauriola Marco Pio, *Le strutture di legno in zona sismica. Criteri e regole per la progettazione ed il restauro*, Torino, CLUT, Seconda Edizione, 2007;
- Pagliolico Lucia, *Scienza e Tecnologia dei materiali*, Politecnico di Torino, 2015;
- Natterer Julius, Herzog Thomas, Volz Michael, *Atlante del Legno*, UTET, 1999;

Capitolo 3.

- Caputo Gennaro, *Il degrado delle Strutture in Legno*, rel. Venturi Luca;
- Faccio Paolo, Scaramuzza Paola, *Costruzioni in Legno. Interventi di conservazione*, Università IUAV di Venezia, 2013;
- Tassani G.&P., *Linea legno*, Genova, 2015;
- Arreghini C., *Trattamento del Legno,* Venezia, 2018;
- Pagliolico Simonetta Lucia, Morra Giulia Renata, *Scienza dei Materiali. Il Legno*, Torino, CELID, 2009;
- Palanti Sabrina, *Durabilità del legno. Diagnosi del degradamento, trattamenti preventivi e curativi*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2013;
- Bjorn Berge, *The Ecology of Building Materials*, Architectural Press, Second Edition, 2009;

Capitolo 4.

- Cravotto Giulia, *Innovazione Tecnologica. Un'esperienza di due tipologie a confronto*, rel. De Paoli Orio;
- Chines Federica, *Mod Home. Oltre l'emergenza*, rel. Sciuto Gaetano;
- Sapienza Manuela, *Edifici Passivi in Clima Mediterraneo. Progetto di un complesso residenziale a Catania*, rel. Cascone Santi Maria;
- Iulano Elsa Maria, *Studio Illuminotecnico di un'unità abitativa realizzata in Legno*, rel. Caldera Carlo, correl. Gianolio Giuseppe;
- Wienke Uwe, *Manuale di Bioedilizia*, DEI, 2008;

- Giachino Davide Maria, *Manuale per progettare in Italia*, UTET Scienze Tecniche, 2013;

SITOGRAFIA:

Capitolo 1.

- http://www.lifegate.it

- http://www.arketipomagazine.it

- http://www.sogesid.it

- http://www.infobuildenergia.it

- http://www.maiano.it

- http://www.minambiente.it

- http://www.rinnovabili.it

- http://www.legambiente.it

- http://www.crea.gov.it

- http://fonti-rinnovabili.it

Capitolo 2

- http://www.domusgaia.it

- http://www.ingegneri.info

- http://www.magazinequalita.it

- http://www.ecomotti.it

- http://www.eurolegnoclima.com

- http://www.arataecobuilding.eu

- http://it.fsc.org

- http://it.fotolia.com

- http://www.ingenio-web.it

- http://www.cbd.it

Capitolo 3.

- http:// www.ipest.it

- http:// www.novaprima.com

- http://www.baschild.com

- http://www.amonlegno.it

- http://www.simaonlus.it

- http://www.microbiologiaitalia.it

- http://www.globalheatingairconditioning.com

- http://www.miniwatt.it

- http://www.biohaus.it

- http://www.issalute.it

- http://www.naturaedesign.eu

Capitolo 4.

- http://www.vasstech.it

- http://www.bigmat.it

- http://www.binderholz.com

- http://www.illulian.com

- http://www.comune.fiano.to.it

- http://www.progettopicone.it

- http://www.100casa.it

- http://franklloydwright.org

SOFTWARE UTILIZZATI:

-Autodesk AutoCAD 2018

-Adobe Photoshop CC 2018

-SketchUp 2015

-Vray For SketchUp 2015

-Nikon Capture NX-D

MEETING PROFESSIONALI E COLLABORAZIONI ESTERNE:

- Intervento Esterno dell'Azienda VASS Tecnologies, a cura dell'Ingegner Giuseppe Gianolio, sull'Architettura Residenziale con struttura portante in legno, in data 17/01/2018, presso il Politecnico di Torino, dipartimento di Ingegneria

- Incontro "Materials & Coffee: un caffè con i ricercatori di MaTto", avvenuto in data 19/06/2018, presso la Cittadella Politecnica del Design e della Mobilità, svoltosi all'interno della Materioteca del Politecnico di Torino

RINGRAZIAMENTI:

"Giunto al termine del mio percorso universitario, mi sembra doveroso ringraziare tutti coloro che mi hanno sostenuto, in particolare la mia famiglia, che con sacrificio mi ha sempre supportato e continuerà a farlo, la mia ragazza, gli amici di sempre. Ringrazio inoltre per la disponibilità il mio Relatore di Tesi, Jean Marc Tulliani, ed il mio Corelatore Giuseppe Gianolio, che mi ha seguito e supportato durante tutto il percorso di ricerca.

Infine ringrazio me stesso, per la determinazione e l'impegno mostrato durante l'intero percorso, permettendomi così di giungere al grande traguardo, la "Laurea Magistrale in Architettura".