

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali*

*CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA*

**TESI DI LAUREA**

in

Progettazione di strutture in legno

# **Abitare il bosco**

**Sistema costruttivo modulare in legno per abitare contesti naturali**

CANDIDATO

Matteo Salvi

RELATORE:

Luca Pozza

CORRELATORI

Andrea Polastri

Francesca Paoloni

Anno Accademico 2020/2021

Sessione II



*Noi siamo fatti per stare fuori e per muoverci. Tra le conseguenze di questa visione ce ne sono alcune che riguardano intimamente il progetto. Quarant'anni di architettura ecologica ci hanno insegnato che il problema della casa è la casa, l'esterno è il nostro ambiente vitale e l'esterno è fatto essenzialmente di piante; per oltre 140.000 anni non abbiamo conosciuto altro. Questo rovescia in maniera quasi imbarazzante, per un architetto, il modo di vedere l'architettura. Finora il verde è stato un servizio. La proposta è invertire i ruoli: è l'architettura a essere un servizio e il verde, la vegetazione, l'esterno, il nostro reale luogo dell'abitare.*

*Maurizio Corrado*

# INDICE

<b>1</b>	<b>L'Ambiente naturale</b>	<b>10</b>
1.1	Mari e Oceani	13
1.2	Foreste	17
<b>2</b>	<b>L'ambiente antropizzato</b>	<b>24</b>
2.1	Urbanizzazione	25
2.2	Consumo di Suolo	27
2.2.1	Politiche e indirizzi sul consumo di suolo	30
2.3	Degrado del suolo	32
2.4	Impatto ambientale del settore edile	36
2.4.1	Emissioni	38
2.4.2	Energia	42
2.4.3	Energie rinnovabili	43
2.5	La Sostenibilità nel settore edile	45
2.6	Materiali	50
2.7	Legno	53
2.7.1	Confronto tra materiali e prodotti strutturali	55
<b>3</b>	<b>Rapporto uomo natura, necessario e benefico</b>	<b>58</b>
3.1	L'ambiente naturale e lo stress	60
3.2	I monoterpeni	61
3.3	Gli ioni negativi	64
3.4	Bioenergetic landscape o elettromagnetismo	66
3.5	Educazione in natura	70
<b>4</b>	<b>La proposta di un sistema costruttivo per abitare in natura</b>	<b>75</b>
4.1	Soluzioni esistenti per abitare in natura	77
4.2	Obiettivi di progetto	79
4.2.1	Obiettivo: Inserimento in contesto boschivo	80
4.2.2	Obiettivo: Sostenibilità	81
4.3	Il modulo	82
4.3.1	Geneesi dei moduli principali	83
4.3.2	Tipologie di modulo: il sistema	85
4.3.3	Combinazione di corpi allungati	87
4.3.4	Unità abitative tipo per 2-4-6 persone	88

<b>5</b>	<b>Relazione di calcolo e verifica degli elementi strutturali .....</b>	<b>91</b>
5.1	Analisi dei carichi .....	93
5.1.1	Peso modulo Parete .....	93
5.1.2	Peso modulo Solaio di Abitazione .....	93
5.1.3	Peso modulo Solaio di Copertura .....	94
5.1.4	Per la copertura: .....	94
5.2	Azione del vento .....	95
5.3	Combinazione delle azioni .....	96
5.4	Determinazione delle sollecitazioni negli elementi strutturali .....	97
5.5	Verifiche dei pannelli X-lam .....	98
5.5.1	Verifica di resistenza a flessione del pannello X-lam .....	99
5.5.2	Verifica di resistenza a taglio del pannello X-lam .....	100
5.5.3	Verifica di deformabilità agli SLE .....	101
5.6	Verifica degli elementi della reticolare di parete .....	102
5.6.1	Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre nei Correnti .....	102
5.6.2	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre nei Correnti .....	102
5.6.3	Verifica di instabilità di colonna per i Correnti compressi .....	102
5.6.4	Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre nei Diagonali .....	103
5.6.5	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre nei Diagonali .....	103
5.6.6	Verifica di instabilità di colonna nei diagonali compressi .....	103
5.7	Verifiche a caldo R60 .....	105
5.8	Correnti superiore ed inferiore .....	106
5.8.1	Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre .....	106
5.8.2	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre .....	106
5.8.3	Verifica di instabilità di colonna .....	106
5.9	Diagonali .....	107
5.9.1	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre .....	107
5.9.2	Verifica di instabilità di colonna .....	107
5.9.3	Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre .....	107
5.10	Verifiche dei puntoni a sostegno delle pareti .....	108
5.10.1	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre .....	108
5.10.2	Verifica di instabilità di colonna (per elementi compressi) .....	108
5.11	Verifiche dei puntoni a caldo .....	109
5.11.1	Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre .....	109
5.11.2	Verifica di instabilità di colonna .....	109

5.12	Verifica delle Connessioni.....	110
5.12.1	Connessione tra i diagonali .....	110
5.12.2	Connessione tra il diagonale e il corrente .....	110
5.12.3	Connessione tra il modulo di parete e il modulo solaio .....	111
5.12.4	Verifica delle connessioni dei puntoni.....	112
5.12.5	Verifica di resistenza lato legno.....	112
5.12.6	Verifica a rifollamento della piastra .....	114
5.12.7	Verifica a taglio del singolo perno .....	114
5.12.8	Connessione laterale tra i moduli di solaio .....	115
5.12.9	Connessione delle pareti divisorie trasversali .....	116
5.12.10	Verifica dei tiranti di controvento .....	117
5.12.11	Verifica a compressione ortogonale alla fibratura tra diagonali e il corrente .....	118
<b>6</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>121</b>

## Introduzione

L' Antropocene, epoca geologica attuale in cui l'ambiente terrestre viene fortemente condizionato su scala sia locale che globale dagli effetti dell'azione umana, non è un fenomeno passeggero ma il nuovo ordine delle cose. La domanda è semplice: quali saranno gli strumenti per il dopo? Il progettista deve necessariamente essere un visionario, ha il compito professionale di immaginare il futuro, immaginare è progettare, e progettare è ciò che fanno architetti e designer, immaginare il dopo. Progettare consiste proprio nel prevedere spazi e ambienti per la vita, dove le persone possano abitare, lavorare, studiare, curarsi e svagarsi, garantendo una certa qualità alla nostra esistenza e alle relazioni tra le persone. **Il principio fondamentale di questo elaborato consiste nel ritenere che la qualità della vita umana non possa prescindere dal contatto con gli ambienti naturali.** Numerose ricerche in tutto il mondo, hanno dimostrato una forte relazione tra la vegetazione e il corpo umano, sviluppatasi nel corso dei 200 mila anni in cui la nostra specie si è evoluta in forte dipendenza dagli ambienti incontaminati. La Biofilia è amore per la vita, predisposizione biologica a preferire le relazioni con il mondo vivente. Questa predisposizione esiste tutt'oggi in ognuno di noi, tanto che la frequentazione di zone a forte presenza di vegetazione porta molteplici benefici al nostro benessere, sia dal punto di vista fisico che psicologico, mentre il 91% della popolazione mondiale vive in territori dove il livello di inquinamento dell'aria supera i limiti posti dall'organizzazione mondiale della sanità.<sup>1</sup>

Nel 2010, Maurizio Corrado, scrittore, professore e architetto italiano, consultò diversi esperti per scrivere uno dei suoi libri. Tra questi Stefano Mancuso<sup>2</sup>, diede risposte molto interessanti sul rapporto tra uomo e ambiente vegetale. "L'essere umano fino a 10.000 anni fa viveva in una foresta. Ci siamo evoluti dalle zone dell'Etiopia, che al tempo era una vera e propria foresta, siamo stati in questo habitat per circa 200.000 anni, dopo di che ne siamo usciti e ora pensiamo che questo ambiente non abbia alcun influsso su di noi. E invece ce l'ha in continuazione. Ci sono una serie impressionante di studi scientifici in tutto il mondo che lo dimostrano. A parità di qualunque altro parametro come la ricchezza o la nazionalità degli abitanti, quartieri cittadini che hanno una maggiore quantità di verde presentano una quantità minore di piccoli reati, una quantità di dieci volte minore di suicidi, una quantità di problemi legati allo stress molto inferiori. Su una strada alberata, il numero di incidenti è inferiore del 50% rispetto alla stessa strada senza alberi. Ne hanno studiato il perché: succede che le persone che guidano su strade alberate hanno uno stato di stress che è molto inferiore, sono più calme e più rilassate. Questo è un fenomeno che coinvolge tutti, si gode del ritorno in situazioni naturali piuttosto che il vivere in una scatola. Nei casi di degenza post-operatoria da rotture di femore, in presenza di piante la degenza assume una durata dimezzata, tanto è vero che in Germania stanno realizzando gli ospedali con un piano

---

<sup>1</sup> World GBC annual report 2020

<sup>2</sup> Stefano Mancuso è una delle eccellenze italiane note nel mondo della ricerca scientifica internazionale. Ha fondato e guida il LINV, Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale, una struttura di ricerca all'avanguardia che studia come le piante superiori siano capaci di ricevere segnali dall'ambiente circostante, rielaborare le informazioni ottenute e calcolare le soluzioni adatte alla loro sopravvivenza.

a serra oppure circondati da un parco accessibile alle sedie a rotelle. Con una rivista inglese siamo andati in una scuola elementare a Firenze, dove c'è un parco con una scuola dentro. Abbiamo preso bambini di seconda e quarta elementare, abbiamo chiesto alle maestre di fare dei gruppi uniformi su tutti i fronti. Li abbiamo divisi in un gruppo che doveva fare un test nel laboratorio linguistico e un gruppo che doveva fare lo stesso test fuori sotto gli alberi. Questo test non richiedeva nessun tipo di conoscenza o cultura, si trattava semplicemente di un test simile a quello della settimana enigmistica in cui bisogna unire i puntini e si ottiene un animale o un disegno. Noi calcolavamo il tempo: quelli che l'hanno fatto nel laboratorio linguistico, nonostante fuori ci fosse più confusione, ci hanno messo il doppio e in alcuni casi anche il triplo del tempo. C'è un numero talmente elevato di esempi che dimostrano che le piante creano benessere in qualunque campo, che il non ammetterlo o il non tenerne conto oggi è semplicemente stupido.”

Il percorso di questo elaborato inizia dall'approfondimento del concetto di **Ambiente**, analizzando i caratteri e lo sviluppo sia di quello naturale che di quello antropizzato. Per il primo vengono evidenziati i principali allarmi climatici riguardo alla condizione degli oceani, delle foreste e della degradazione del suolo. Per l'ambiente antropizzato invece si analizzano i dati sull'urbanizzazione mondiale e i conseguenti impatti sull'ecosistema, riguardo il consumo di suolo, di energia e di materie prime, oltre alle emissioni inquinanti prodotte dal settore edilizio per la costruzione e il funzionamento degli edifici. A tal proposito lo studio prosegue nell'approfondimento delle tecniche architettoniche e del sistema di certificazioni che incentivano e favoriscono lo sviluppo di un'edilizia con maggiore attenzione all'impatto sull'ambiente, in tutte le fasi della vita di un edificio e in tutti gli aspetti ad esso correlati. Al termine della prima fase di questa tesi si analizzano le caratteristiche degli ambienti naturali che li rendono i luoghi ideali dove vivere e che apportano benessere fisico e mentale agli esseri umani. In primo luogo, viene analizzato il legame innato che ci lega agli ambienti naturali, riportando molte ricerche scientifiche che in tutto il mondo stanno rivelando una connessione profonda tra uomo e natura. In secondo luogo, vengono approfonditi gli effetti positivi contro lo stress e i disturbi correlati, i benefici fisici indotti da piccole sostanze volatili come i Monoterpeni, l'abilità dei boschi di trattenere gli ioni negativi creando delle aree particolarmente benefiche e infine le capacità elettromagnetiche degli alberi in grado di accelerare il funzionamento delle nostre cellule. In ultima istanza, preso atto di una necessaria riscoperta della natura, si approfondiscono le tecniche per educare i futuri cittadini del mondo fin dalla più piccola età attraverso la frequentazione di ambienti selvaggi.

Dagli argomenti indagati e dai dati raccolti nella prima parte di tesi, si evince che l'essere umano non è adatto a vivere negli ambienti antropizzati che sono stati realizzati negli ultimi secoli, il nuovo stile di vita ha portato alla diffusione di diversi disturbi e nuove malattie un tempo non così aggressive e letali. Non solo è urgente riscoprire il legame con la natura per il nostro benessere, ma anche per la salvaguardia e la conservazione del pianeta terra. Le foreste, infatti, oltre ad essere una fonte di cibo, medicinali e biocarburanti, limitano il degradamento del suolo e i processi di desertificazione, partecipano alla regimazione delle acque, contengono il rischio di alluvioni, ospitano più di tre quarti della biodiversità terrestre e mitigano il cambiamento climatico assorbendo anidride carbonica, oltre ad essere la

principale fonte di ossigeno insieme al fitoplancton degli oceani. Appare necessario dare nuova importanza alla vegetazione, e ripensare il nostro modo di abitare e di vivere, cercando di invertire la priorità di occupazione del terreno, lasciando il ruolo principale alle foreste e sviluppando tecniche che permettano di inserire in secondo piano rispetto ad esse i nostri edifici, in modo da assecondare gli spazi vuoti lasciati dalla vegetazione.

A partire da questa visione, l'elaborato si concentra sulla proposta e progettazione di un **sistema costruttivo** capace di condurre l'uomo ad abitare territori dominati dalle alberature. In particolare, il percorso di progetto parte dall'obiettivo di immergere piccoli edifici in secondo piano rispetto agli alberi, con grande superficie vetrata per il massimo contatto visivo col contesto naturale e puntando a ridurre l'impatto sul suolo attraverso pochi elementi di fondazione puntiformi grazie ad una struttura dell'edificio basata sul sistema della travatura reticolare. Parallelamente le scelte architettoniche vengono guidate da obiettivi di sostenibilità ambientale. Al fine di ridurre i consumi energetici è possibile sfruttare le caratteristiche stagionali dei boschi per limitare l'utilizzo di impianti di riscaldamento e raffrescamento; le pareti vetrate permettono ai raggi solari di riscaldare gli ambienti interni nei periodi freddi, mentre nelle stagioni calde le chiome degli alberi proteggono dall'irraggiamento solare. Il progetto prevede per gli elementi strutturali l'utilizzo del legno, materia rinnovabile con un impatto minore sull'ambiente, che facilita la prefabbricazione e velocizza la fase di costruzione grazie ad un assemblaggio a secco. Al fine di ottimizzare le fasi di cantierizzazione, trasporto, smontaggio e riutilizzo, l'edificio viene suddiviso in moduli così da garantire flessibilità dimensionale degli spazi e il riutilizzo dei componenti edilizi prima del riciclo dei materiali.

# 1 L'Ambiente naturale

“L'ambiente è un sistema complesso di fattori fisici, chimici e biologici, di elementi viventi e non viventi e di relazioni in cui sono immersi tutti gli organismi che abitano il Pianeta.”<sup>3</sup> L'insieme correlato dell'ambiente e di tutta la comunità ecologica degli organismi che lo popolano definisce quello che viene detto un "ecosistema". “Nel linguaggio comune, tuttavia, il termine ambiente sta a significare più genericamente il luogo in cui si svolge la vita degli uomini, degli animali e delle piante, con i suoi paesaggi, le sue risorse e i suoi equilibri.” **Allo scopo di mettere in evidenza e analizzare gli effetti dell'uomo sull'ambiente**, si è soliti distinguere tra "ambiente naturale" e "ambiente costruito".<sup>4</sup> In particolare si definisce “**naturale**” un ambiente che non ha subito trasformazioni da parte dell'uomo o in cui le modifiche subite permettono di conservare la sua apparenza e le sue funzionalità originarie, mentre si definisce “**costruito**” un ambiente "artificiale", le cui proprietà sono direttamente condizionate dall'attività dell'uomo. Se ci si basa su questa definizione di ambiente naturale, risulta difficile riscontrare ambienti che non abbiano subito modifiche da parte dell'uomo. Siamo infatti all'interno di quella che è stata definita : Antropocene, l'epoca geologica attuale in cui l'ambiente terrestre viene fortemente condizionato su scala sia locale che globale dagli effetti dell'azione umana. Nel 2005 il Millennium Ecosystem Assessment<sup>5</sup> delle Nazioni Unite riportava che negli ultimi 50 anni gli esseri umani hanno modificato gli ecosistemi in modo più vasto e profondo che in qualsiasi altro periodo della storia dell'umanità in gran parte per soddisfare le richieste in rapida crescita di cibo, acqua dolce, legname, fibre e carburante. Ciò ha comportato una perdita sostanziale e in gran parte irreversibile della biodiversità sulla Terra. Circa il 60% (15 su 24) dei servizi ecosistemici esaminati nel Millennium Ecosystem Assessment vengono degradati o utilizzati in modo non sostenibile. Gli insetti sono calati del 40%, la biomassa dei mammiferi selvatici del 82%, una specie su quattro è a rischio scomparsa, e le piante accusano un tasso di estinzione 500 volte superiore al normale. Il 75% delle terre emerse e il 66% degli oceani sono significativamente alterati dalla nostra presenza.

- Il cambiamento più significativo nella struttura degli ecosistemi è stata la trasformazione di circa un quarto (24%) della superficie terrestre in sistemi coltivati. Più superficie di terreno è stata convertita in campi coltivati nei 30 anni dopo il 1950 che nei 150 anni tra il 1700 e il 1850.

---

<sup>3</sup> [https://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente\\_%28Universo-del-Corpo%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente_%28Universo-del-Corpo%29/)

<sup>4</sup> <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/our-built-and-natural-environments.pdf>

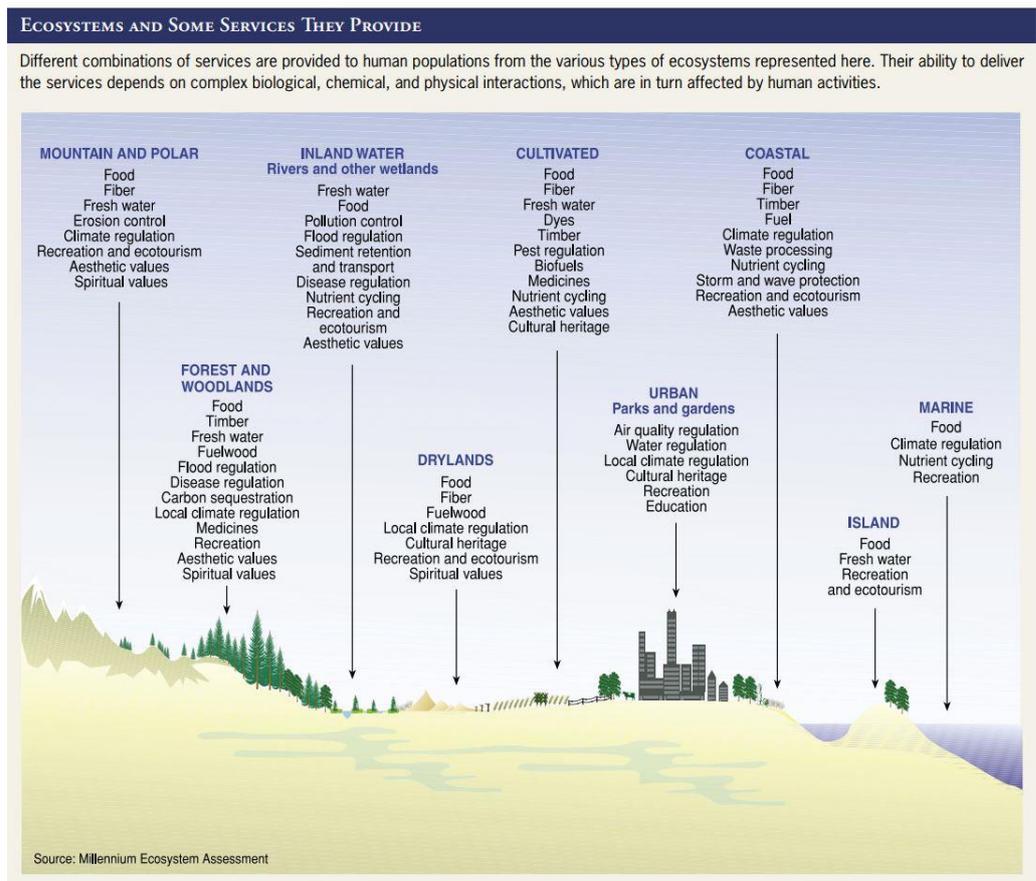
<sup>5</sup> Il Millennium Ecosystem Assessment (MEA) è stato richiesto dal Segretario generale delle Nazioni Unite Kofi Annan nel 2000. Iniziato nel 2001 e pubblicato nel 2005, l'obiettivo del MEA era valutare le conseguenze del cambiamento dell'ecosistema per il benessere dell'umanità e la base scientifica per le azioni necessarie per la conservazione e l'uso sostenibile del pianeta. Questa dichiarazione, che ha coinvolto il lavoro di oltre 1.360 esperti in tutto il mondo, proviene dal Consiglio che gestisce il processo di MEA, i cui membri comprendono rappresentanti delle Nazioni Unite, organizzazioni, governi, organizzazioni non governative, università, imprese e popolazioni indigene.

- Tra il 1960 e il 2000, la capacità di stoccaggio dei serbatoi idrici è quadruplicata; di conseguenza, si stima che la quantità di acqua immagazzinata nelle grandi dighe sia da tre a sei volte quella contenuta nei canali fluviali naturali. I prelievi di acqua da fiumi e laghi sono raddoppiati dal 1960; la maggior parte dell'acqua utilizzata (70% in tutto il mondo) è per l'agricoltura.

- Nei paesi per i quali sono disponibili dati pluriennali sufficienti (che comprendono più della metà dell'attuale area di mangrovie), circa il 35% delle mangrovie è andato perso negli ultimi due decenni. Circa il 20% delle barriere coralline del mondo è andato perso e un ulteriore 20% si è degradato negli ultimi decenni del ventesimo secolo.

- I terreni coltivati si espansero rapidamente in Europa dopo il 1700 e nel Nord America e nell'ex Unione Sovietica, in particolare dopo il 1850. Nel 1950 circa il 70% delle foreste temperate originali e delle praterie e delle foreste mediterranee era andato perduto, in gran parte a causa della conversione all'agricoltura. Storicamente, la deforestazione è stata molto più intensa nelle regioni temperate che nei tropici, e l'Europa è il continente con la più piccola frazione di foreste originali rimaste. Gli ecosistemi e i biomi<sup>6</sup> che sono stati **alterati in modo più significativo** a livello globale dall'attività umana includono ecosistemi marini e di acqua dolce, foreste temperate di latifoglie, praterie temperate, foreste mediterranee e foreste tropicali secche.<sup>7</sup>

- All'interno dei sistemi marini, la domanda mondiale di alimenti e mangimi, negli ultimi 50 anni, ha determinato una pressione di pesca così forte che la biomassa delle specie più ricercate è stata ridotta in gran parte del mondo a un decimo dei livelli precedenti l'inizio della pesca industriale.



<sup>6</sup> In ecologia, un tipo di ambiente terrestre caratterizzato da una particolare vegetazione e da un particolare clima; per es., bioma delle praterie, tutte le aree in cui è presente la prateria. Vocabolario Treccani

<sup>7</sup> Ecosystems and human well-being, Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment

Il Millennium Ecosystem Assessment, analizza l'ambiente individuando 10 categorie di ecosistemi, e i relativi servizi che ognuna di queste è in grado di fornire alla popolazione umana. Come si osserva nell'immagine esse sono: montagne e circoli polari, foreste e boschi, acque interne, zone aride o deserti, zone coltivate, zone urbane, zone costiere, isole, mari e oceani. La maggior parte degli ecosistemi naturali sono significativamente alterati dalla nostra presenza, nello specifico il 60% dei servizi ecosistemici, il 75% delle terre e il 66% degli oceani. In questo elaborato si intende approfondire più nel dettaglio la condizione e le prospettive future di alcune categorie di ecosistemi. In particolare, gli oceani risultano maggiormente inquinati dall'azione dell'uomo, le zone desertiche rappresentano una situazione di degrado irreversibile dell'ambiente mentre boschi e foreste costituiscono la principale fonte di mitigazione del clima e fornitura di servizi ecosistemici.

Tutta la superficie terrestre poteva essere definita ambiente naturale prima che il nostro impatto diventasse così ingente da alterarne la struttura. Gli **ecosistemi polari**, ad esempio, sono territori ad alta latitudine congelati per molti mesi all'anno, comprese le calotte polari, le aree coperte dal permafrost, la tundra, i deserti polari e le aree costiere polari. La temperatura in questi sistemi è in media più alta ora che in qualsiasi altro momento negli ultimi 400 anni, con conseguente disgelo diffuso del permafrost e riduzione del ghiaccio marino. La maggior parte dei cambiamenti che si verificano nelle regioni polari amplificano le tendenze del riscaldamento globale e riducono la capacità di questi territori di agire come un sistema di raffreddamento per la Terra. Il nostro impatto sta quindi modificando l'aspetto e le funzioni degli ambienti polari e degli oceani anche senza l'urbanizzazione del territorio. Risultano ambienti naturali, ma compromessi in modo irreversibile. L'articolo della redazione ANSA (13 marzo 2020) riporta uno studio dell'università di Leeds, il quale evidenzia che la perdita media annuale di ghiaccio in Groenlandia e Antartide negli anni Dieci di questo secolo è stata di 475 miliardi di tonnellate, sei volte gli 81 miliardi di tonnellate all'anno degli anni Novanta.<sup>8</sup> Dal 1992 al 2017 i due territori hanno perso complessivamente 6.400 miliardi di tonnellate di ghiaccio, di cui il 60% in Groenlandia. Lo studio rivela che la perdita dei ghiacci riscontrata nei due sistemi polari conferma lo scenario peggiore fra quelli immaginati dall'Ipcc, il comitato scientifico dell'Onu sul riscaldamento globale. La ricerca dell'Università di Leeds, inoltre, prevede al 2100 un innalzamento di 70 centimetri del livello del mare, con 400 milioni di persone che saranno colpite dal fenomeno.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> [https://www.ansa.it/canale\\_ambiente/notizie/clima/2020/03/13/clima-scioglimento-ghiacci-polari-6-volte-piu-veloce\\_a7589876-bf1f-4375-8488-87d96df5fe9a.html](https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/clima/2020/03/13/clima-scioglimento-ghiacci-polari-6-volte-piu-veloce_a7589876-bf1f-4375-8488-87d96df5fe9a.html)

<sup>9</sup> Ecosystems and human well-being, Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment

## 1.1 Mari e Oceani

Il sito della Protezione Civile Italiana, nella sezione rischio ambientale<sup>10</sup>, riporta che sul pianeta sono presenti quasi un miliardo e mezzo di metri cubi di acqua, di cui il 97% è costituito da acqua salata e il 3% è rappresentato dalle acque dolci di fiumi, laghi, ghiacciai e acque sotterranee. Esistono differenti tipologie di inquinamento dell'acqua:

- **Civile:** deriva dagli scarichi delle zone abitate, nei casi in cui l'acqua viene riversata senza alcun trattamento di depurazione nei fiumi o direttamente nei mari;
- **Industriale:** formato da varie sostanze che dipendono dalla produzione industriale e petrolifera;
- **Agricolo:** legato all'utilizzo eccessivo di fertilizzanti e pesticidi, che date le caratteristiche idrosolubili, penetrano nel terreno e inquinano le falde acquifere o giungono nel mare.

Alcune sostanze chimiche presenti nell'acqua sono altamente pericolose per la salute dell'uomo e per la sopravvivenza degli esseri viventi, come cromo, mercurio o i solventi clorurati. I fertilizzanti chimici utilizzati in agricoltura e i liquami rilasciati dagli allevamenti includono sostanze organiche che, dilavate dalla pioggia, possono infiltrarsi nelle falde acquifere o nei corpi idrici superficiali. A queste sostanze si aggiungono spesso detriti e rifiuti di varie dimensioni che si depositano lungo le sponde dei fiumi, sul fondo del mare o lungo le coste. L'inquinamento marino è soprattutto di origine terrestre, in particolare è una conseguenza dello sversamento degli scarichi civili, industriali e agricoli nei fiumi, che poi conducono le sostanze inquinanti nei mari. La maggiore fonte di contaminazione di origine marina deriva dallo scarico accidentale o non autorizzato di liquami come il petrolio, o di detriti inquinanti, causato da incidenti navali dovuti a tempeste, collisioni ed esplosioni o a incidenti presso le piattaforme d'estrazione.

Un team internazionale di scienziati guidato dal Center Scientifique de Monaco, Boston College e il Woods Hole Oceanographic Institution, ha pubblicato il 3 Dicembre 2020 su *Annals of Global Health*, il rapporto "**Human Health and Ocean Pollution**"<sup>11</sup> che indaga gli impatti dell'inquinamento marino, del cambiamento climatico, della dispersione di plastica, dell'acidificazione degli oceani, del deflusso di nutrienti, degli sversamenti di petrolio e di altri fattori sul benessere umano e sull'ecosistema marino. Di seguito si riportano i risultati ambientali e dell'ecosistema riassunti dal rapporto.

---

<sup>10</sup> <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-ambientale/descrizione/inquinamento-acque>

<sup>11</sup> <https://annalsofglobalhealth.org/article/10.5334/aogh.2831/#:~:text=With%20climate%20change%20and%20increasing,injustice%20on%20a%20planetary%20scale.>

**Risultati ambientali:** l'inquinamento degli oceani è diffuso, in peggioramento e nella maggior parte dei paesi scarsamente controllato. Consiste in una miscela complessa di metalli tossici, plastica, prodotti chimici manifatturieri, petrolio, rifiuti urbani e industriali, pesticidi, fertilizzanti, prodotti chimici farmaceutici, deflusso agricolo e acque reflue. Più dell'80% dell'inquinamento marittimo deriva da fonti terrestri, raggiunge gli oceani attraverso fiumi, deflussi, depositi atmosferici e scarichi diretti. È spesso più pesante vicino alle coste e maggiormente concentrato nei paesi a basso e medio reddito. La **plastica** è una componente in rapido aumento e altamente visibile dell'inquinamento oceanico e si stima che circa 10 milioni di tonnellate di rifiuti di plastica entrino nei mari ogni anno. Il **mercurio** è l'inquinante metallico di maggiore preoccupazione negli oceani; viene rilasciato da due fonti principali: la combustione del carbone e l'estrazione dell'oro su piccola scala. La diffusione globale dell'agricoltura industrializzata con un uso crescente di fertilizzanti chimici porta all'estensione delle fioriture algali nocive (HAB) in regioni precedentemente non colpite. Gli inquinanti chimici sono onnipresenti e contaminano i mari e gli organismi marini dall'alto Artico alle profondità abissali.

**Risultati dell'ecosistema:** l'inquinamento degli oceani arreca agli ecosistemi marini

molteplici impatti negativi che sono amplificati dal cambiamento climatico globale. Gli inquinanti a base di petrolio riducono la fotosintesi nei microrganismi marini che generano ossigeno. L'aumento dell'assorbimento di anidride carbonica nei mari provoca l'acidificazione degli oceani, che distrugge le barriere coralline, altera lo sviluppo dei molluschi, dissolve i microrganismi contenenti calcio alla base della rete alimentare marina e aumenta la tossicità di alcune sostanze. L'inquinamento da **plastica** minaccia mammiferi, pesci e uccelli marini e si accumula in grandi vortici oceanici. Le plastiche si scompongono in microplastiche e nano-plastiche contenenti varie sostanze chimiche che possono entrare nei tessuti degli organismi marini, comprese le specie consumate dagli esseri umani. Gli

## THE OCEAN POLLUTION-BERG

PLASTIC WASTE IS JUST THE TIP OF A LARGER PROBLEM

Pollution of the oceans is widespread, worsening, and in most countries poorly controlled. Human activities result in a complex mixture of substances entering the aquatic environment.

More than 80% arises from land-based sources

It reaches the oceans through rivers, runoff, atmospheric deposition and direct discharges. Ocean pollution has multiple negative impacts on ecosystems and human health, particularly in vulnerable populations

**1 PLASTIC WASTE**  
THE TIP OF THE POLLUTION-BERG

Plastic is a rapidly increasing and highly visible component of ocean pollution. An estimated 10 million metric tons enter the seas each year. Plastic pollution threatens marine mammals, fish and seabirds. It breaks down into microplastic and nanoplastic particles containing multiple manufactured chemicals that can enter marine food chains, including species consumed by humans.

**2 OIL SPILLS**  
AN AQUATIC KILLER

Oil spills have occurred with increasing frequency in recent years as the result of growing global demand for petroleum. These events have resulted in direct release of millions of tons of crude oil and other petroleum products into the oceans. Petroleum-based pollutants reduce photosynthesis in marine microorganisms that generate oxygen. They also disrupt food sources, destroy fragile habitats such as estuaries and coral reefs, and foul beaches.

**3 MERCURY**  
QUICKSILVER BULLETS

Mercury is released from two main sources - coal combustion and small-scale gold mining. Exposures of infants in utero when pregnant mothers eat contaminated seafood can cause IQ loss and serious developmental disorders. In adults, mercury increases risks for dementia and cardiovascular disease.

**4 MANUFACTURED CHEMICALS**  
A HEADY COCKTAIL

Manufactured chemicals - phthalates, bisphenol A, flame retardants, perfluorinated chemicals and pharmaceutical waste, can disrupt endocrine signaling, reduce male fertility, damage the nervous system, and increase risk of cancer. They can also damage coral reefs.

**5 PESTICIDES**  
COLLATERAL DAMAGE

pesticides are specifically designed to have biological effects, and thus even low-dose exposures can affect living organisms, including humans. Pesticides contribute to global declines in fish stocks, and can also reduce human fertility.

**6 NUTRIENTS**  
FEEDING FRENZY

Industrial releases, runoff from animal feedlots and human sewage increase frequency and severity of harmful algal blooms (HABs), bacterial pollution and anti-microbial resistance.

**FOR MORE INFORMATION, SEE THE FULL PAPER AT:**  
<http://bit.ly/pollutionberg>

**THE WAY FORWARD**

World leaders who take bold, evidence-based action to stop pollution at source will be critical to preventing ocean pollution and safeguarding human health. Measures such as these could help with the six problems:

- 1 Better management of plastic waste**  
Bans on single-use plastic
- 2 Wide-scale transition to renewable fuels**
- 3 Banning mercury use**  
Eliminating coal combustion
- 4 Chemical control policies**  
Mandatory premarket toxicity testing
- 5 Bans on persistent organic pollutants (POPs)**  
Control of industrial discharges
- 6 Better treatment of sewage**  
Reduced applications of fertilizers

**ALL** Transition to a circular economy Building scientific capacity  
Embracing green chemistry Designation of Marine Protected Areas (MPAs)

BOSTON COLLEGE CSM CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO  
WILL STAHN-TIMMINS

scarichi industriali, il deflusso agricolo e le acque reflue aumentano la frequenza e la gravità delle fioriture algali, dell'inquinamento batterico e della resistenza antimicrobica, contribuiscono al calo globale degli stock ittici.

Come riporta Philip J. Landrigan<sup>12</sup>: «Il **mercurio** è uno dei grandi inquinanti dell'oceano. Viene rilasciato dalla combustione del carbone, dove il mercurio si vaporizza, sale nell'atmosfera e si deposita negli oceani. Nei mari, questa sostanza, si accumula nei pesci, specialmente nelle specie predatrici come il tonno, la spigola, il pesce azzurro, il pesce spada, ed è attraverso di questi che anche l'essere umano è esposto a questo rischio. Se una mamma incinta mangia pesce contaminato dal mercurio, questo entra nel suo corpo, passa al suo bambino e può causare danni cerebrali, perdita di QI, aumento del rischio di deficit di attenzione, aumento del rischio per il disturbo dello spettro autistico».

I grandi pezzi di **plastica** feriscono, strangolano, bloccano le vie respiratorie e impediscono l'assunzione di cibo, causando spesso la morte di animali. Come riporta un articolo del WWF<sup>13</sup>, sono 134 le specie tra pesci, uccelli, tartarughe e mammiferi marini che solo nel Mediterraneo sono vittime dell'ingestione di plastica. Secondo le stime, nei



mari sono stati riversati tra i 90 e i 150 milioni di tonnellate di plastica, di cui una buona parte si è depositata sui fondali e il problema è destinato a peggiorare: se non si interromperà lo sversamento dei rifiuti di plastica, entro il 2050 negli oceani ci saranno più plastiche che pesci. Sui fondali mediterranei sono stati rilevati i livelli di microplastiche più elevati mai registrati, fino a 1,9 milioni di frammenti su una superficie di un solo metro quadrato. Queste dimensioni ridotte di plastiche non creano problemi di intrappolamento o soffocamento, ma un loro accumulo in grandi quantità nell'apparato digerente è quasi sempre mortale, o può comportare l'assunzione di virus, batteri e contaminanti tossici da parte degli organismi marini. Queste problematiche riguardano anche noi: ingeriamo in media cinque grammi di plastica a settimana, l'equivalente di una carta di credito, e non si conoscono ancora gli effetti sulla nostra salute. La Great Pacific Garbage Patch, chiamata anche "Pacific Trash Vortex" è il più grande accumulo di rifiuti negli oceani. La sua esistenza è nota già dagli anni '80, ma la sua scoperta risale al 1997. Si trova nell'oceano Pacifico, tra la California e

---

<sup>12</sup> Philip John Landrigan, è un epidemiologo e pediatra americano e uno dei principali sostenitori mondiali della salute dei bambini. Il suo lavoro è stato riconosciuto dall'organizzazione nazionale no-profit Healthy Child Healthy World.

<sup>13</sup><https://www.wwf.ch/it/i-nostri-obbiettivi/inquinamento-dei-mari>  
[https://www.wwf.it/plastica\\_nel\\_mediterraneo/](https://www.wwf.it/plastica_nel_mediterraneo/)

l'Arcipelago Hawaiano, e si sposta seguendo la corrente oceanica del vortice subtropicale del Nord Pacifico. Ha un'età di oltre 60 anni ed è "l'isola di spazzatura" più grande al mondo, si stima che possa occupare dai 700 mila km<sup>2</sup> fino ai 10 milioni di km<sup>2</sup>, in pratica quanto la penisola Iberica, o gli Stati Uniti d'America. Secondo l'Unep <sup>14</sup>, l'isola di rifiuti del Pacifico, starebbe crescendo molto in fretta, alimentata da circa una tonnellata di rifiuti al giorno, tanto che presto potrebbe essere visibile anche dallo spazio.

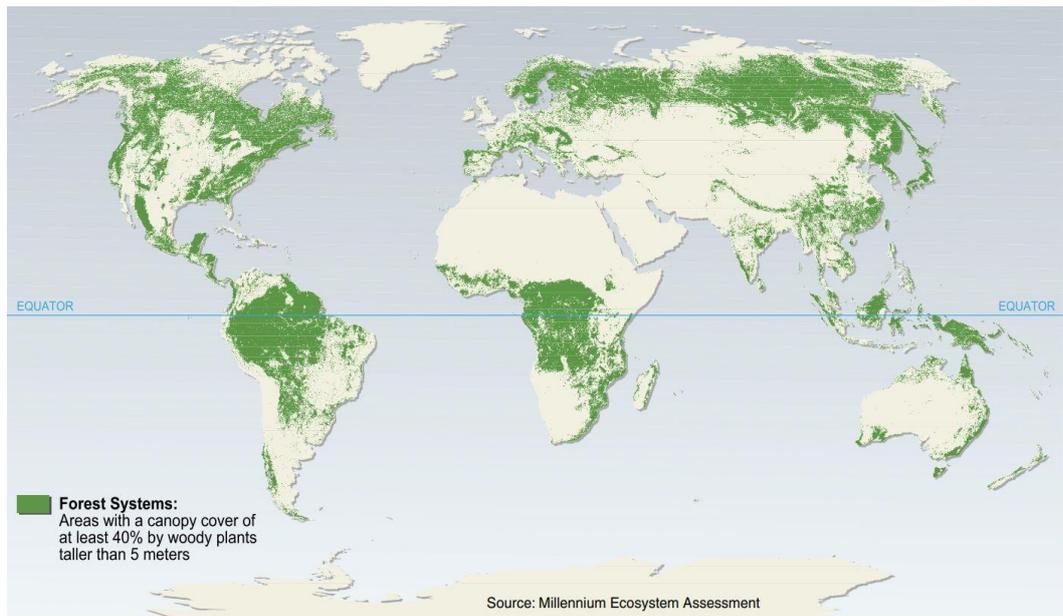
Come riporta il "The state of world fisheries and acquaculture" della FAO, circa il 10% della popolazione mondiale dipende dalla pesca per il proprio sostentamento. Questo fenomeno prevale nel Sud del mondo, che opera per lo più nella pesca su piccola scala, e che è responsabile del 50% delle catture totali di pesce. Si stima che la produzione globale di pesce abbia raggiunto un valore totale della prima vendita stimato in 401 miliardi di dollari, circa 179 milioni di tonnellate nel 2018 di cui 82 milioni, cioè il 45% provenivano dalla produzione in allevamento. Del totale complessivo, 156 milioni di tonnellate sono state utilizzate per il consumo umano, equivalenti a una fornitura annua stimata di 20,5 kg pro capite. I restanti 22 milioni di tonnellate erano destinati ad usi non alimentari, principalmente per la produzione di farina di pesce e olio di pesce.

---

<sup>14</sup> Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente, UNEP - UN Environment Programme

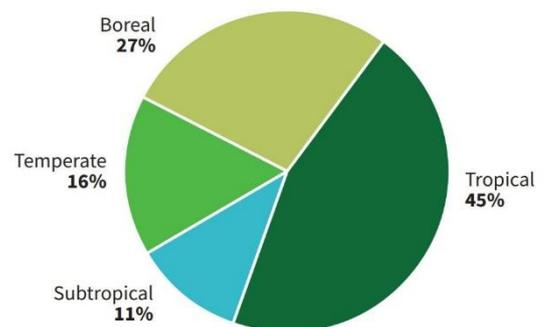
## 1.2 Foreste

Nel settembre 2015, i leader mondiali hanno concordato l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, compresi i suoi 17 obiettivi. L'Agenda 2030 sta ora guidando lo sviluppo di politiche in

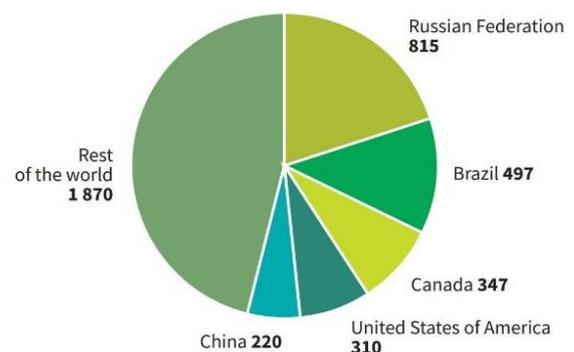


tutto il mondo volte a sradicare la povertà e la fame, promuovere una crescita inclusiva e sostenibile, ridurre le disuguaglianze, affrontare il cambiamento climatico e il degrado ambientale e gestire in modo sostenibile le nostre risorse naturali. **Le foreste** sono al centro dell'Agenda 2030. Sono una fonte di cibo, medicinali e biocarburanti per oltre 1 miliardo di persone. Limitano il degradamento del suolo e i processi di desertificazione, partecipano alla regimazione e captazione delle acque, contengono il rischio di alluvioni, ospitano più di tre quarti della biodiversità terrestre e mitigano il cambiamento climatico. Le foreste forniscono molti prodotti e servizi ecosistemici che contribuiscono allo sviluppo socioeconomico delle popolazioni e creano lavoro e reddito per decine di milioni di persone. Le foreste forniscono habitat per l'80% delle specie di anfibi, il 75% delle specie di uccelli e il 68% delle specie di mammiferi. <sup>15</sup> I sistemi forestali sono associati alla regolazione del 57% del deflusso totale delle acque. <sup>16</sup> Circa 4,6 miliardi di persone

Proportion of global forest area by climatic domain, 2020



Top five countries for forest area, 2020 (million ha)



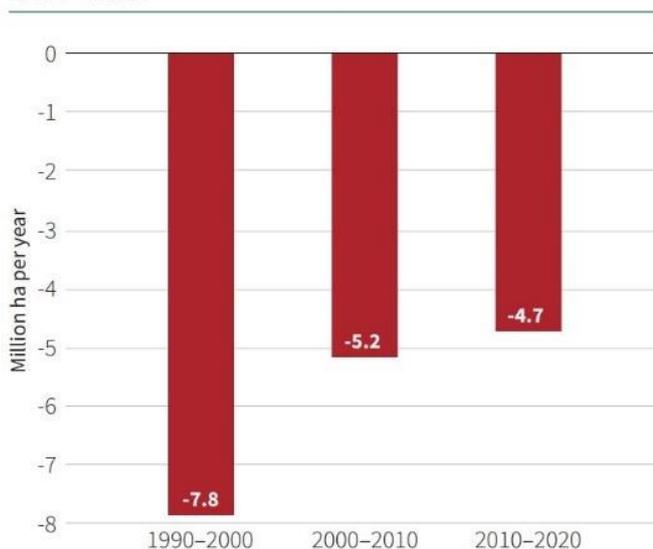
<sup>15</sup> Global Forest Resources Assessment 2020, Main report, FAO, United Nations

<sup>16</sup> I boschi e le foreste regolano i volumi di acqua presenti nel suolo e riducono la generazione del deflusso superficiale che rappresenta la principale componente delle piene, a favore di un aumento dei tempi di corrivazione e della capacità di laminazione dei bacini. <https://www.georgofili.it/uploaded/1826.pdf>

dependono per tutto o parte del proprio consumo di acqua dalle forniture provenienti dai sistemi forestali. L'area globale delle foreste è stata ridotta della metà negli ultimi tre secoli. Sono effettivamente scomparse in 25 paesi e altri 29 hanno perso più del 90% della loro copertura forestale. Dal 1990 al 2000, l'area globale di foresta temperata è aumentata di quasi 3 milioni di ettari all'anno, mentre la deforestazione ai tropici è avvenuta a un ritmo medio superiore a 12 milioni di ettari all'anno negli ultimi due decenni. 17

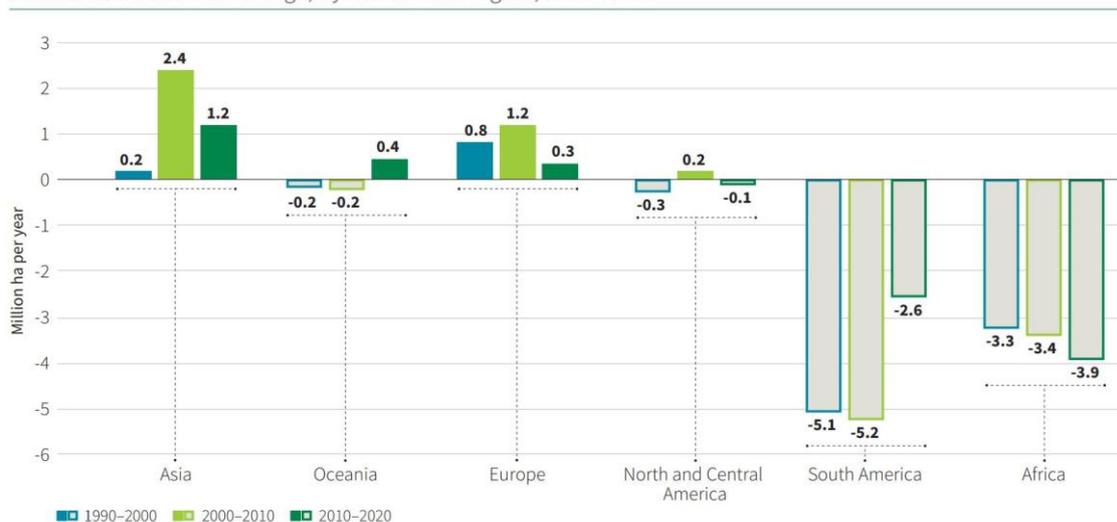
Il pianeta ha una superficie forestale totale di 4,06 miliardi di ettari, che è il 31% della superficie terrestre totale. Questa area equivale a 0,52 ettari per persona, sebbene le foreste non siano distribuite equamente tra la popolazione e geograficamente. Nella zona tropicale è presente la maggior parte delle foreste della terra (45%), seguito dalla zona boreale 27%, temperata 16% e subtropicale 11%. Più della metà (54%) delle foreste del mondo si trova in soli cinque paesi: Federazione Russa, Brasile, Canada, Stati Uniti d'America e Cina.

Global annual forest area net change, by decade, 1990–2020



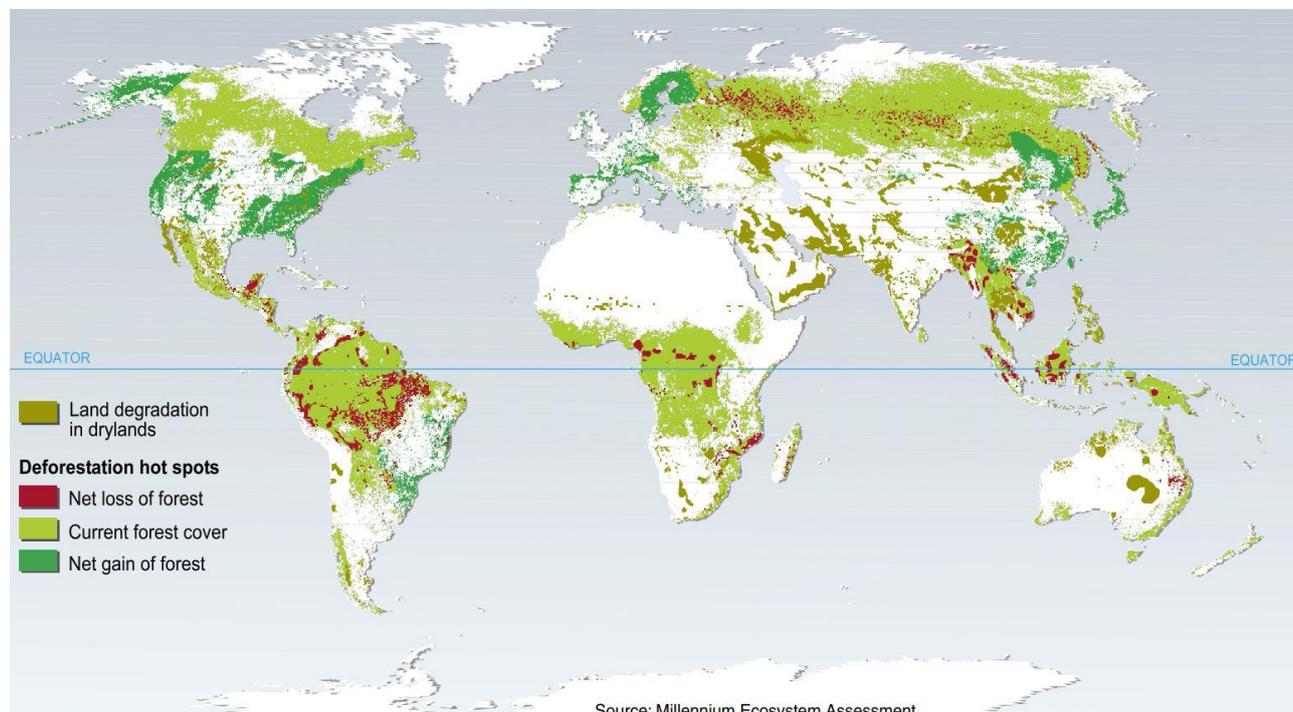
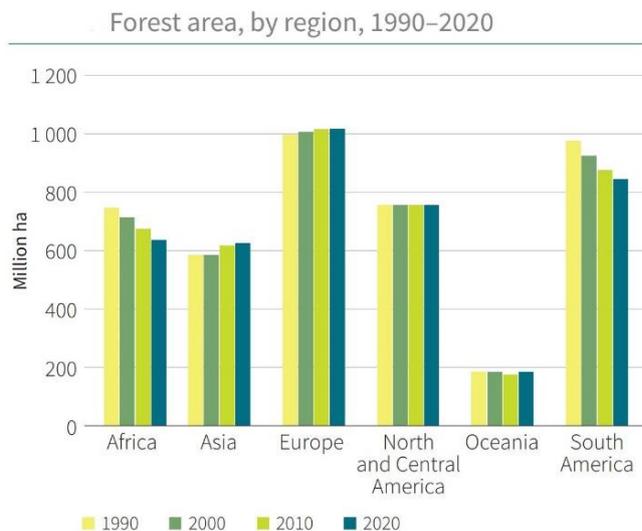
L'area forestale sta diminuendo, ma il tasso di perdita è rallentato. Il mondo ha perso un'area netta di 178 milioni di ettari di foresta dal 1990, un'area delle dimensioni della Libia. Il tasso di perdita netta di foreste è diminuito notevolmente nel periodo 1990-2020 a causa di una riduzione della deforestazione in alcuni paesi, oltre all'aumento della superficie forestale in altri attraverso il rimboschimento e la naturale espansione. Il tasso di perdita netta di foresta è sceso da 7,8 milioni di ettari all'anno nel decennio 1990-2000 a 5,2 milioni di ettari all'anno

Annual forest area net change, by decade and region, 1990–2020



nel 2000-2010 fino a 4,7 milioni di ettari all'anno nel 2010-2020. Il tasso di diminuzione della perdita netta di foresta è rallentato nell'ultimo decennio a causa di una riduzione del tasso di espansione delle foreste.

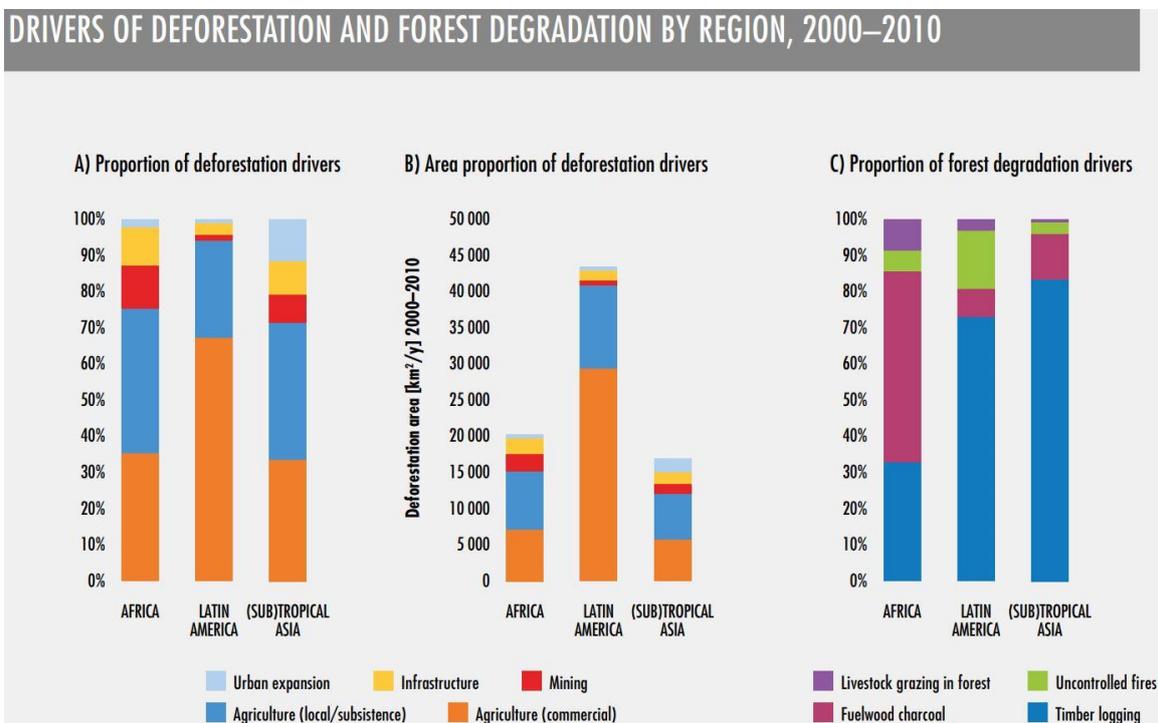
L'Africa ha registrato il tasso annuo più elevato di perdita netta di foreste nel 2010-2020, con 3,9 milioni di ettari, seguita dal Sud America, con 2,6 milioni di ettari. Il tasso di perdita netta di foreste è aumentato in Africa in ciascuno dei tre decenni dal 1990, tuttavia, è diminuito sostanzialmente in Sud America, fino a circa la metà del tasso di perdita del 2010-2020 rispetto al 2000-2010. L'Asia ha registrato il maggior guadagno netto di superficie forestale nel 2010-2020, seguita dall'Oceania e dall'Europa. Tuttavia, sia l'Europa che l'Asia hanno registrato tassi di guadagno netto sostanzialmente inferiori nel 2010-2020 rispetto al 2000-2010. L'Oceania ha registrato perdite nette di superficie forestale nei decenni 1990-2000 e 2000-2010. Si stima che dal 1990 siano stati persi 420 milioni di ettari di foresta in tutto il mondo a causa della deforestazione, ma il tasso di perdita di area forestale è diminuito notevolmente. Nell'ultimo quinquennio (2015-2020), il tasso annuo di deforestazione è stato stimato a 10 milioni di ettari, in calo rispetto ai 12 milioni di ettari nel 2010-2015.



Il 93% (3,75 miliardi di ettari) della superficie forestale mondiale è composto da foreste che si sono rigenerate naturalmente e il 7% (290 milioni di ettari) è stato piantato. L'area delle foreste a rigenerazione naturale è diminuita dal 1990, ma l'area di foreste piantate è

aumentata di 123 milioni di ettari, nonostante il tasso di aumento sia rallentato negli ultimi dieci anni.

Le piantagioni di foreste coprono circa 131 milioni di ettari, che rappresentano il 3% della superficie forestale globale e il 45% dell'area totale delle foreste piantate. La quota più alta di foresta di piantagioni si trova in Sud America, dove questo tipo di foresta rappresenta il 99% della superficie forestale totale piantata e il 2% dell'area forestale totale. La quota più bassa di foreste di piantagioni si trova in Europa, dove rappresenta il 6% della proprietà forestale piantata e lo 0,4% della superficie forestale totale. A livello globale, il 44% delle foreste di piantagioni presenta specie introdotte. Ci sono grandi differenze tra le regioni: ad esempio, le foreste di piantagioni nel Nord e Centro America sono composte principalmente da specie autoctone e quelle in Sud America sono costituite quasi interamente da specie



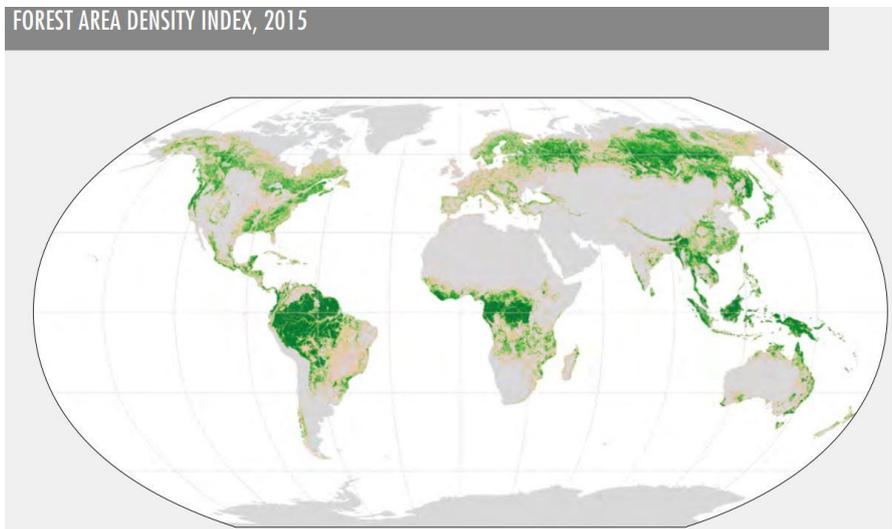
introdotte. Ci sono circa 726 milioni di ettari di foresta in aree protette in tutto il mondo. Delle sei regioni del mondo, il Sud America ha la quota più alta di foreste protette, con il 31% del totale. Questa tipologia di foreste a livello globale è aumentata di 191 milioni di ettari dal 1990, ma il tasso di aumento annuale è rallentato nel 2010-2020.

Un'analisi dei dati nazionali per 46 paesi tropicali e subtropicali che rappresentano circa il 78% dell'area forestale in quei domini climatici ha rivelato che l'agricoltura commerciale su larga scala (principalmente allevamento di bestiame, coltivazione di soia e palma da olio) è il motore più diffuso della deforestazione, rappresentandone il 40%. L'agricoltura di sussistenza locale rappresenta circa il 33% della deforestazione, l'espansione urbana per il 10%, le nuove infrastrutture per il 10% e i processi di estrazione di materie prime per il 7%.<sup>18</sup> Ironia della sorte, la resilienza dei sistemi alimentari umani e la loro capacità di

<sup>18</sup> Global Forest Resources Assessment 2020, Main report, FAO, United Nations

adattarsi ai cambiamenti futuri dipendono da quella stessa biodiversità, compresi gli arbusti e le specie arboree adattate alle zone aride che aiutano a combattere la desertificazione, gli insetti delle foreste, i pipistrelli e le specie di uccelli che impollinano i raccolti, gli alberi con radici estese negli ecosistemi montani che prevengono l'erosione del suolo e le specie di mangrovie che forniscono resistenza contro le inondazioni nelle zone costiere.

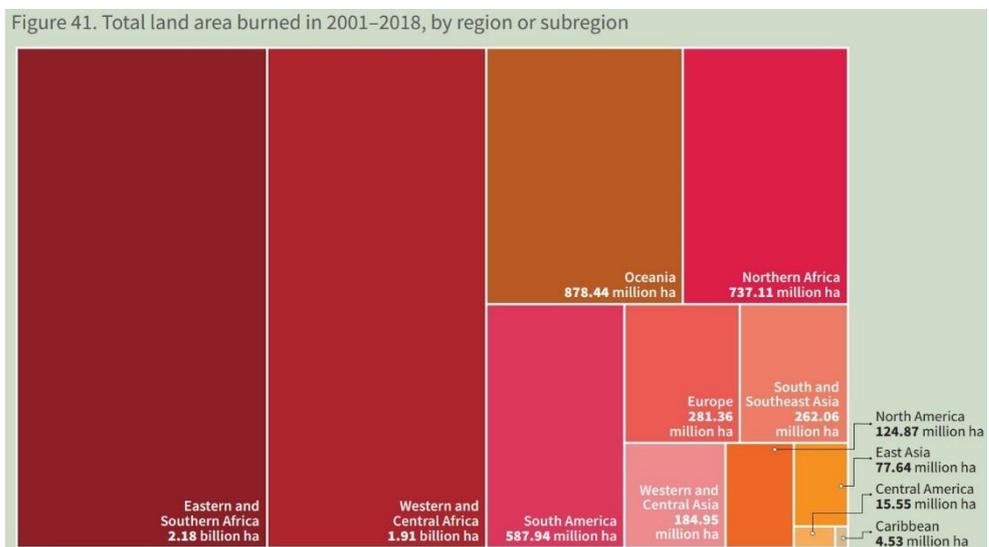
Un valore alto per la densità dell'area forestale indica un'elevata connettività, aree forestali compatte e una bassa frammentazione, mentre un valore basso di densità indica macchie forestali isolate, perforate e altamente frammentate. Lo studio ha trovato 34,8 milioni di macchie di foresta nel mondo, di



dimensioni variabili da 1 a 680 milioni di ettari. Circa 80% della superficie forestale del mondo si trova in aree più grandi di 1 milione di ettari; questa classe dimensionale rappresenta oltre il 25% della superficie forestale per tutti i tipi di foresta. Tuttavia, ci sono solo 149 di queste aree forestali su 34 milioni, il che significa che la maggior parte dell'area forestale del mondo è concentrata in pochissime località. Il resto delle foreste del mondo è sparso e relativamente piccolo. Circa il 99,8% del numero totale di patch sono inferiori a 1000 ettari. Insieme, rappresentano il 7% della superficie forestale globale. La dimensione media di tutti gli appezzamenti forestali è di soli 132 ettari, ma la dimensione media delle macchie varia notevolmente tra le zone climatiche. In media le patch più grandi si trovano nella foresta boreale di conifere e nelle zone della foresta pluviale tropicale.

Le foreste devono affrontare molte minacce che possono influire negativamente sulla loro salute e ridurre la loro capacità di fornire una gamma completa di beni e servizi ecosistemici.

Circa 98 milioni di ettari di foresta sono stati colpiti da incendi nel 2015 principalmente nel dominio tropicale, dove il fuoco ha bruciato circa il 4% della superficie totale in quell'anno. Più di due terzi della superficie forestale totale colpita si



trovava in Africa e Sud America. Insetti, malattie e gravi eventi meteorologici hanno danneggiato circa 40 milioni di ettari di foreste nello stesso anno, principalmente nei domini temperati e boreali.

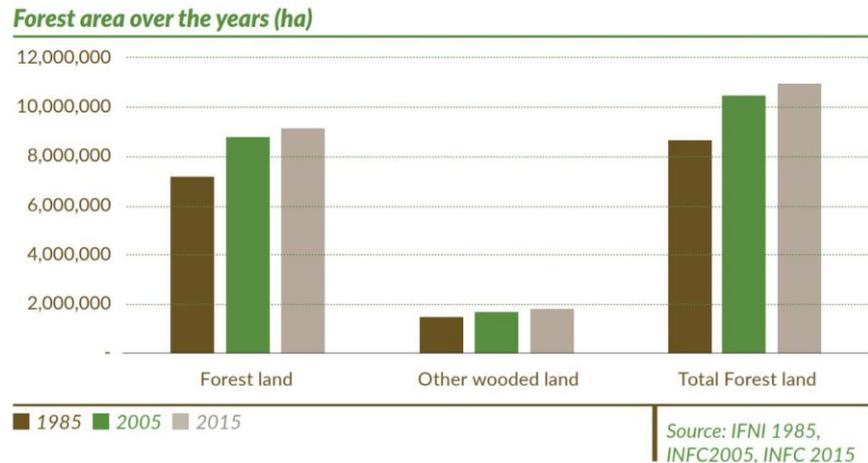
Quasi tutti gli incendi disastrosi sono associati a condizioni di pericolo di incendio estremo guidate da fattori meteorologici come mancanza di precipitazioni, velocità del vento elevata e alte temperature. Queste condizioni hanno causato la diffusione di incendi anche in zone meno soggette a questo pericolo come le foreste dell'Artico e della Russia. Si stima che il 90% degli incendi sia facilmente circoscritto e controllato, contribuendo al 10% o meno dell'area totale bruciata. Circa il 90% dell'area interessata da un incendio viene aggredita da solo il 5-10% del numero totale degli incendi. Alcuni roghi infatti superano i limiti di controllo e divengono incontenibili. Più di due terzi degli incendi nel 2001-2018 si sono verificati in Africa. A livello globale, infatti, i maggiori incendi sono avvenuti in Africa orientale e meridionale, Africa occidentale e centrale, in Australia, nel Nord Africa e nel Sud America, tutti con oltre 500 milioni di ettari bruciati per ciascun incendio.

L'area di suolo bruciata non sempre riflette danni o perdite di foreste. Il Sud America, l'Africa e l'Australia, hanno tutte ampie aree di savana e praterie, molte delle quali bruciano ciclicamente e il fuoco è parte integrante dell'ecosistema. La FAO ha analizzato gli incendi in aree coperte da alberi per ottenere una migliore comprensione delle dinamiche globali. Secondo l'analisi, il 78% delle aree bruciate nelle aree coperte di alberi tra il 2001 e il 2019 si collocano in Africa. In media, le aree coperte da alberi hanno rappresentato circa il 29% dell'area totale bruciata da incendi tra il 2001 e il 2018. All'incirca 98 milioni di ettari di foresta, o il 3% della superficie forestale globale, sono stati colpiti da incendi nel 2015, cioè il 26% dell'area totale bruciata in quell'anno. Gli incendi sono avvenuti principalmente ai tropici, dove hanno interessato circa il 4% della superficie forestale. Le stime per l'Europa indicano un potenziale aumento dell'area bruciata annua del 120-270% al di sopra della media nel 2000-2010 entro il 2090. I cambiamenti in corso nell'attività globale degli incendi in termini di posizione, intensità, gravità e frequenza avranno probabilmente costi immensi in termini di biodiversità, servizi ecosistemici, benessere umano, mitigazione climatica ed economie nazionali. <sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Global Forest Resources Assessment 2020, Main report, FAO, United Nations

La **superficie forestale italiana**, quasi raddoppiata in meno di un secolo, è in continua crescita come evidenziano i dati provvisori dell'«Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio» del 2015 (INFC, 2015). Come riporta "The state of italian forests"<sup>20</sup> il 36,4% della superficie italiana è coperta da boschi e foreste, corrispondenti a 10.982.013 ettari. In particolare, ci sono 9.165.505 ettari di bosco e 1.816.508 ettari di altre terre boscate (come definite dalla FAO). Di queste, circa il 70% si trova ad un'altitudine minore di 1.000 m s.l.m., circa il 17% si trova tra i 1.000 e i 1.500 m e il 9% oltre i 1.500 m. L'87,1% della superficie forestale è situata in aree sottoposte a vincolo idrogeologico, ma il 76,9% dei soprassuoli boschivi non risultata interessata da "fenomeni di dissesto". La superficie coperta da foreste è cresciuta di 514.480,



La superficie forestale è cresciuta di 514.480, aumentando del 4,9% dal 2010 al 2020. In Italia le foreste aumentano ogni anno di una superficie pari a 64.067 campi da calcio, 52.856 ettari, cioè un campo da calcio ogni 9 minuti. Il 66,2% delle aree boscate appartiene a proprietari privati, mentre il 33,5% a enti pubblici. Sul suolo privato vi sono 96.750 ettari dedicati all'arboricoltura da legno e solo il 18% della superficie boscata totale è soggetta a piani di gestione forestale. In base a indagini ISTAT dal 1950 al 2005, è avvenuto un ampliamento dell'area forestale del 18,1% attraverso un visibile processo di recupero spontaneo della vegetazione su aree abbandonate dall'utilizzo agricolo e pascolativo. Questo fenomeno è stato incrementato ulteriormente dagli investimenti statali realizzati dagli anni 60 ad oggi per la riforestazione, con l'obiettivo di creare boschi naturali per fini protettivi e occupazionali tramite piantagioni soprattutto di conifere a rapido accrescimento ed eucalipti. "Infatti, negli ultimi decenni, con gli incentivi comunitari per l'impianto di specie forestali e da arboricoltura da legno su terreni agricoli e non agricoli (Reg. CEE 2080/92, Reg. CE 1257/99, Reg. CE 1698/05), sono stati realizzati popolamenti arborei con finalità sia produttive che ambientali, costituiti da pioppo e altre latifoglie "nobili", come ciliegio, noce, frassino, rovere, o altre specie a rapido accrescimento."<sup>21</sup>

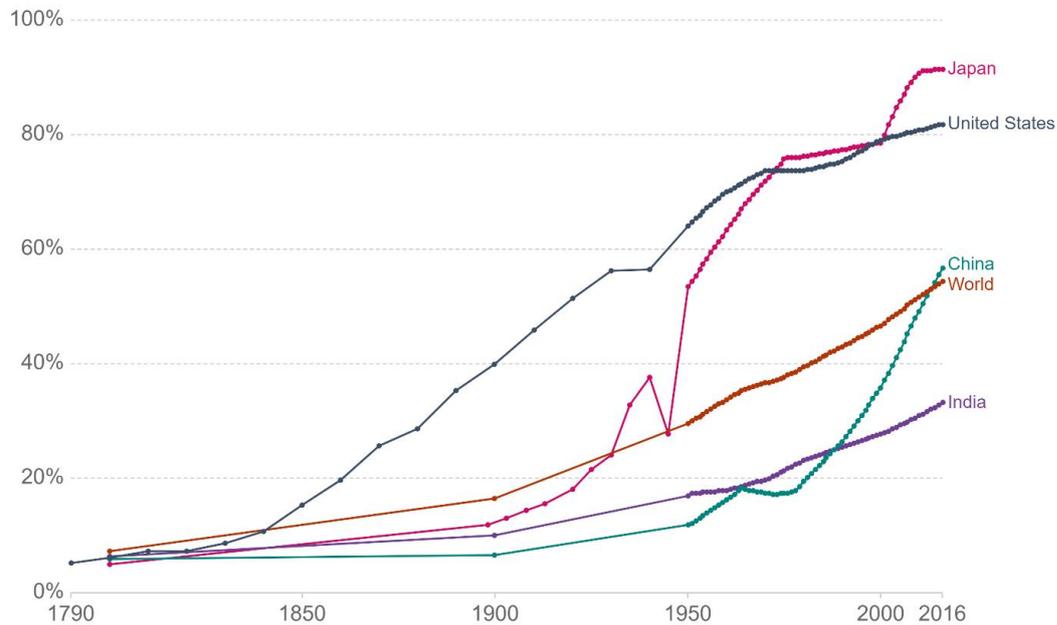
<sup>20</sup> The state of italian forests, Executive summary, Rete rurale nazionale 2014-20200

<sup>21</sup> I Boschi Italiani, Numeri, strategie e filiera, FederLegnoArredo

## 2 L'ambiente antropizzato

### Urbanization over the past 500 years, 1790 to 2016

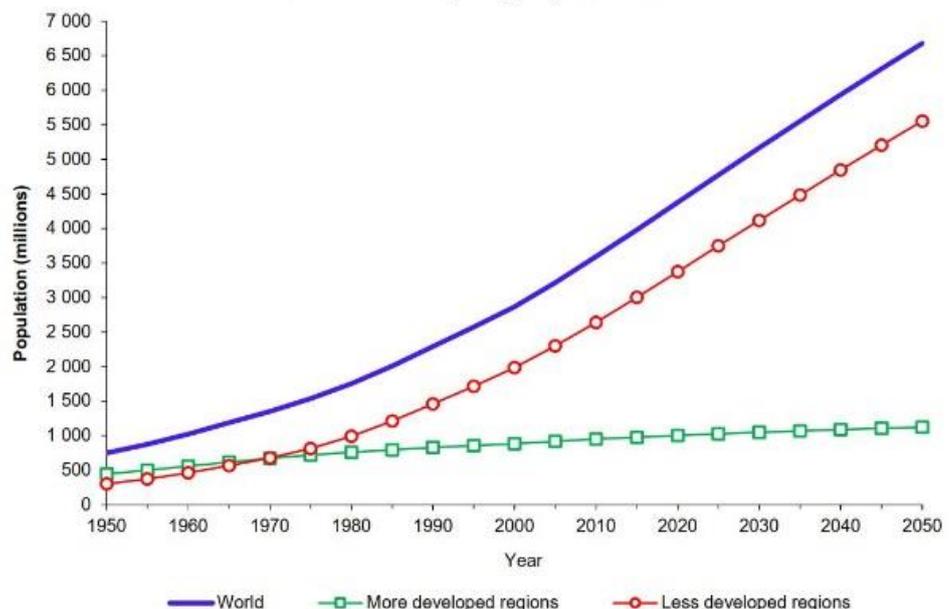
Share of the total population living in urban areas.



Source: OWID based on UN World Urbanization Prospects 2018 and historical sources (see Sources) OurWorldInData.org/urbanization • CC BY  
 Note: Urban areas are based on national definitions and may vary by country.

L'**ambiente costruito** o antropizzato è un ambiente "artificiale", le cui caratteristiche sono diretta conseguenza dell'attività umana, dove le modifiche subite dall'ambiente sono tali da non conservarne il suo aspetto e le sue funzionalità originarie. **Gli ecosistemi urbani** sono ambienti edificati con un'alta densità di abitanti. La popolazione urbana mondiale è aumentata da circa 200 milioni nel 1900 a 2,9 miliardi nel 2000 e il numero di città con una popolazione superiore a 1 milione è aumentato da 17 nel 1900 a 388 nel 2000. Attualmente la popolazione conta quasi 8 miliardi di persone, e le previsioni vedono il raggiungimento di 11 miliardi tra soli 70 anni, con il maggior contributo delle nazioni in via di sviluppo, la cui crescita è ipotizzata dalla linea rossa nel grafico.

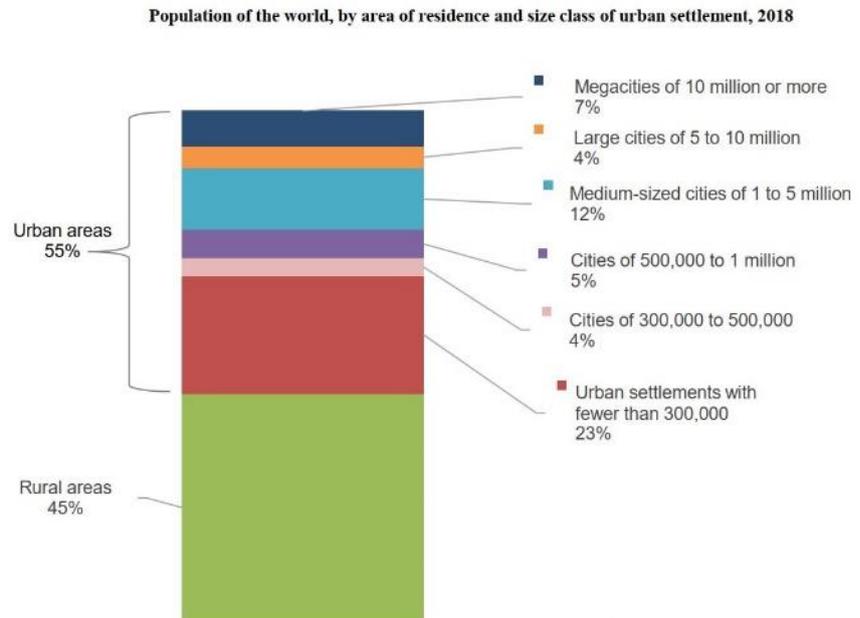
Estimated and projected urban populations of the world, the more developed regions and the less developed regions, 1950-2050



## 2.1 Urbanizzazione

Nel 1950, il 30% della popolazione mondiale viveva in contesti urbani. Nel 2009, per la prima volta gli abitanti di aree urbane hanno superato quelli delle aree rurali, nel 2018 hanno raggiunto il 55% e le previsioni non ipotizzano un'inversione di tendenza. Il **World Urbanization Prospects**

### 2018, rapporto delle Nazioni Unite, prevede che entro il 2050, il 68% della popolazione mondiale vivrà in ambito urbano. Attualmente c'è una significativa differenza nei livelli di urbanizzazione raggiunta dalle nazioni. Le regioni geografiche più urbanizzate includono il Nord America (82% di popolazione urbana nel 2018), America Latina (81%), Europa (74%) e Oceania (68%). Il livello di urbanizzazione in Asia si avvicina ora al 50% mentre l'Africa rimane per lo più rurale, con il 43% di popolazione urbana. Quasi la metà degli abitanti delle città del mondo risiede in insediamenti relativamente piccoli con meno di 500.000 abitanti, mentre circa una persona su otto vive in una delle megalopoli con più di 10 milioni di abitanti. Nel 1990 queste erano appena una decina, oggi sono 33 e cresceranno a circa 43 nel 2030, soprattutto nei paesi in via di sviluppo come India, Cina e Nigeria. Le città con più di 5 milioni di abitanti erano appena 18 nel 1970, sono diventate 67 nel 2018 e si stima che diventino 109 nel 2030. Tra il 1990 e il 2018, le città del mondo con più di 300.000 abitanti sono cresciute a un tasso medio annuo dell'1,8%.



Urban areas 55%

Rural areas 45%

Megacities of 10 million or more 7%

Large cities of 5 to 10 million 4%

Medium-sized cities of 1 to 5 million 12%

Cities of 500,000 to 1 million 5%

Cities of 300,000 to 500,000 4%

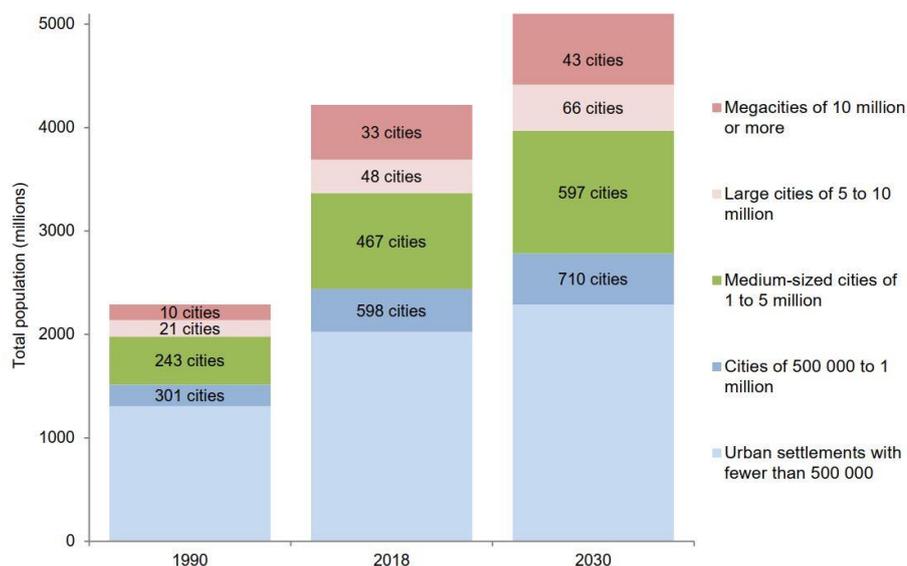
Urban settlements with fewer than 300,000 23%

Nel 1950, il 59% della popolazione nei paesi ad alto reddito viveva già nelle aree urbane, e questa quota dovrebbe aumentare ulteriormente, dall'81% odierno a quasi l'88% nel 2050. Al contrario, nei paesi a reddito medio-alto di oggi, la percentuale di popolazione che vive nelle aree urbane era solo del 22% nel 1950, sperimentando in seguito un ritmo di urbanizzazione decisamente rapido tale che la quota della popolazione urbana in questi paesi aumenterà dall'attuale 67% all'83% entro il 2050. Nei paesi a reddito medio-basso il ritmo di urbanizzazione è stato più lento ma si prevede che questo gruppo di paesi affronterà un'urbanizzazione più rapida rispetto ad altri nei prossimi decenni. Nel 2018 infatti, la popolazione urbana era al 41% nei paesi a reddito medio-basso e al 32% per cento nei paesi a basso reddito. Entro il 2050, questi paesi raggiungeranno rispettivamente il 59% e il 50%.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> 2018 Revision of World Urbanization Prospects, United Nations

Mentre la popolazione mondiale continua a urbanizzarsi, lo sviluppo sostenibile è condizionato sempre più dalla gestione della crescita e rinnovamento delle città, principalmente nei paesi a reddito basso e medio-basso dove è prevista l'urbanizzazione più rapida da qui al 2050. Occorrono politiche integrate per

Population and number of cities of the world, by size class of urban settlement, 1970, 1990, 2018 and 2030



migliorare la vita degli abitanti sia delle zone rurali che urbane, rafforzandone i collegamenti e i legami economici, sociali e ambientali esistenti. **Nonostante il 91% della popolazione viva in territori dove il livello di inquinamento dell'aria supera i limiti posti dall'organizzazione mondiale della sanità,**<sup>23</sup> la crescente urbanizzazione, secondo il direttore della divisione "popolazione" dell'Onu John Wilmoth, potrebbe risultare un fenomeno positivo sia dal punto di vista economico che per la qualità della vita delle persone. "La crescente concentrazione di persone nelle città permette di fornire servizi agli abitanti di uno Stato in maniera più economica". Gli abitanti delle città, infatti, hanno accessibilità maggiore e facilitata ai sistemi di istruzione e di assistenza sanitaria. Infine, secondo Wilmoth, la concentrazione della popolazione in grandi contesti urbani può aiutare a minimizzare il nostro impatto per i trasporti di persone, di merci, di beni di prima necessità, e può richiedere la realizzazione di meno infrastrutture sparse, a patto che i governi sviluppino politiche e pratiche per prepararsi al cospicuo afflusso di persone.

1970			2018			2030		
Rank	Urban agglomeration	Population (thousands)	Rank	Urban agglomeration	Population (thousands)	Rank	Urban agglomeration	Population (thousands)
1	Tokyo	23 298	1	Tokyo	37 468	1	Delhi	38 939
2	New York-Newark	16 191	2	Delhi	28 514	2	Tokyo	36 574
3	Kinki M.M.A. (Osaka)	15 272	3	Shanghai	25 582	3	Shanghai	32 869
4	Ciudad de México (Mexico City)	8 831	4	São Paulo	21 650	4	Dhaka	28 076
5	Buenos Aires	8 416	5	Ciudad de México (Mexico City)	21 581	5	Al-Qahirah (Cairo)	25 517
6	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana	8 378	6	Al-Qahirah (Cairo)	20 076	6	Mumbai (Bombay)	24 572
7	Paris	8 208	7	Mumbai (Bombay)	19 980	7	Beijing	24 282
8	São Paulo	7 620	8	Beijing	19 618	8	Ciudad de México (Mexico City)	24 111
9	London	7 509	9	Dhaka	19 578	9	São Paulo	23 824
10	Kolkata (Calcutta)	7 329	10	Kinki M.M.A. (Osaka)	19 281	10	Kinshasa	21 914
11	Moskva (Moscow)	7 106	11	New York-Newark	18 819	11	Lagos	20 600
12	Chicago	7 106	12	Karachi	15 400	12	Karachi	20 432
13	Rio de Janeiro	6 791	13	Buenos Aires	14 967	13	New York-Newark	19 958
			14	Chongqing	14 838	14	Chongqing	19 649

<sup>23</sup> World GBC annual report 2020

## 2.2 Consumo di Suolo

Sulla base delle previsioni di crescita della popolazione e del numero delle megalopoli, si deduce un necessario aumento di consumo di suolo naturale, sia per la realizzazione di nuovi edifici, sia per implementare la produzione agricola per il sostentamento. “Il suolo è lo strato superiore della crosta terrestre costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi. Rappresenta l’interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera. Visti i tempi estremamente lunghi di formazione del suolo, si può ritenere che esso sia una risorsa sostanzialmente non rinnovabile.”<sup>24</sup> “Il suolo ci fornisce cibo, biomassa e materie prime; funge da piattaforma per lo svolgimento delle attività umane; è un elemento del paesaggio e del patrimonio culturale e svolge un ruolo fondamentale come habitat.”<sup>25</sup> Nel suolo vengono stoccate, filtrate e trasformate molte sostanze, tra le quali l’acqua, i nutrienti e il carbonio. Per l’importanza che rivestono sotto il profilo socioeconomico e ambientale, tutte queste funzioni devono pertanto essere tutelate.<sup>26</sup> Un suolo di buona qualità è in grado di assicurare moltissime funzioni ecologiche, economiche, sociali garantendo la fornitura di diversi servizi ecosistemici, cioè i benefici che l’umanità riceve dagli ecosistemi, che sono suddivisi in 3 gruppi come riporta l’ISPRA<sup>27</sup>:

- servizi di approvvigionamento, come risorse naturali, alimenti, acqua e materie prime
- servizi di regolazione e mantenimento (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell’erosione e dei nutrienti, regolazione della qualità dell’acqua, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, riserva genetica, conservazione della biodiversità, etc.);
- servizi culturali (ricreativi, etici e spirituali, paesaggio e patrimonio naturale)

È necessario comprendere e difendere il suolo, perché è una risorsa straordinaria e non rinnovabile considerando che per generare 2.5 cm di suolo servono 500 anni. “Bisogna attivare azioni di difesa del suolo perché è un bene comune che ci nutre, ci sostiene, ci fa respirare, oggi non viene solo calpestato, ma consumato e distrutto per sempre.” Paolo Pileri racconta il suolo da una prospettiva scientifica ma anche economica e politica. Spiega come il consumo di suolo sia provocato da interessi economici sia dei privati che delle amministrazioni pubbliche, così come da piani urbanistici dissennati e frammentati. I consumi sono rallentati negli ultimi anni: da 70 a 40 ettari al giorno in Italia<sup>28</sup>, ma questo non è il risultato di leggi rivoluzionarie né di un cambio di passo, è semplicemente causato

---

<sup>24</sup> Parlamento europeo e Consiglio 2013, Rapporti ISPRA, Consumo di suolo, Edizione 2018

<sup>25</sup> <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli>

<sup>26</sup> Commissione Europea 2006, Rapporti ISPRA, Consumo di suolo, Edizione 2018

<sup>27</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/definizioni>

<sup>28</sup> Rapporti ISPRA, Consumo di suolo 2016

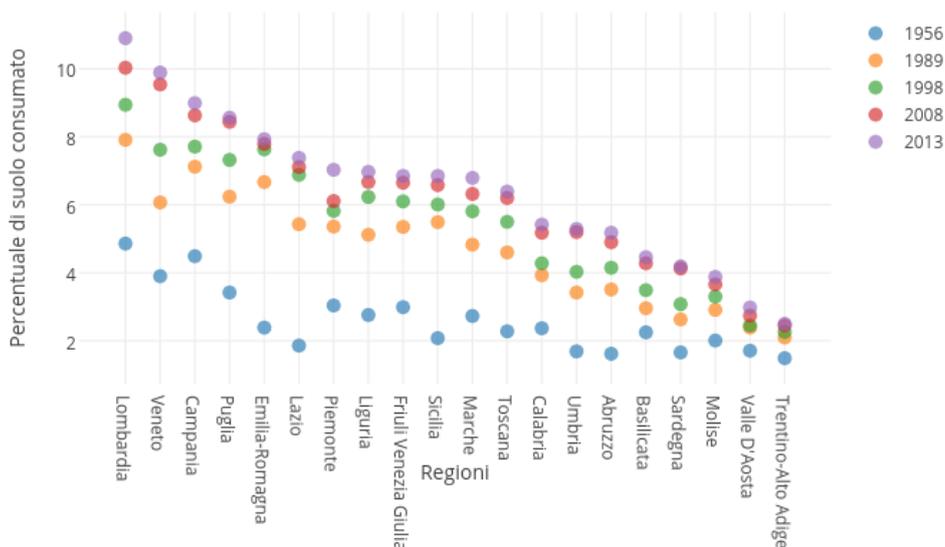
del mercato immobiliare che ha frenato, sia perché la crisi ha travolto il settore edilizio sia perché si inizia a fare i conti con l'enorme esubero di case, capannoni, condomini ed altri. Come riportato dall'Istat nel "Censimento generale della popolazione e delle abitazioni" <sup>29</sup>, gli edifici su suolo italiano sono circa 15 milioni, dei quali il 5,2% (1 su 20, cioè 750 000 strutture) è attualmente inutilizzato. Osservando i dati, le regioni con maggiori edifici in esubero in percentuale, sono: Valle d'Aosta, Abruzzo, Molise, Calabria e Sicilia.

**L'impermeabilizzazione** del suolo consiste nella copertura permanente di parte del terreno e del relativo suolo con materiali artificiali quali asfalto o calcestruzzo per la costruzione di edifici, strade, parcheggi e infrastrutture. L'impermeabilizzazione, azione antropica che inibisce le funzioni della risorsa suolo, rappresenta la forma più evidente e di difficile reversibilità di degrado del suolo e dell'ecosistema:

- Accresce il rischio di inondazioni, poiché diminuisce la permeabilità delle aree,
- Contribuisce al riscaldamento globale,
- Minaccia la biodiversità,
- Contribuisce alla progressiva e sistematica distruzione del paesaggio,
- Limita il ruolo insostituibile del suolo nel ciclo degli elementi nutritivi, perdita di terreni agricoli fertili,
- Incrementa la frammentazione degli habitat,
- Contribuisce ai cambiamenti climatici locali, insieme al calore prodotto dal condizionamento dell'aria e dal traffico e all'assorbimento di energia solare da parte di superfici scure in asfalto o calcestruzzo.<sup>30</sup>

Le aree verdi in contesti urbani invece, facilitano il deflusso delle acque piovane e il ricarica delle falde sotterranee, riducendo il rischio e la portata delle possibili inondazioni. La loro capacità di assorbire l'anidride carbonica e altri inquinanti atmosferici permette di migliorare la qualità dell'aria, nonché di raffrescare l'aria e migliorare il confort termico attraverso i processi di evapotraspirazione, nei quali per avviare la fotosintesi le piante assorbono energia termica dall'ambiente circostante.

Consumo di suolo in Italia dal 1956 al 2013 (%)

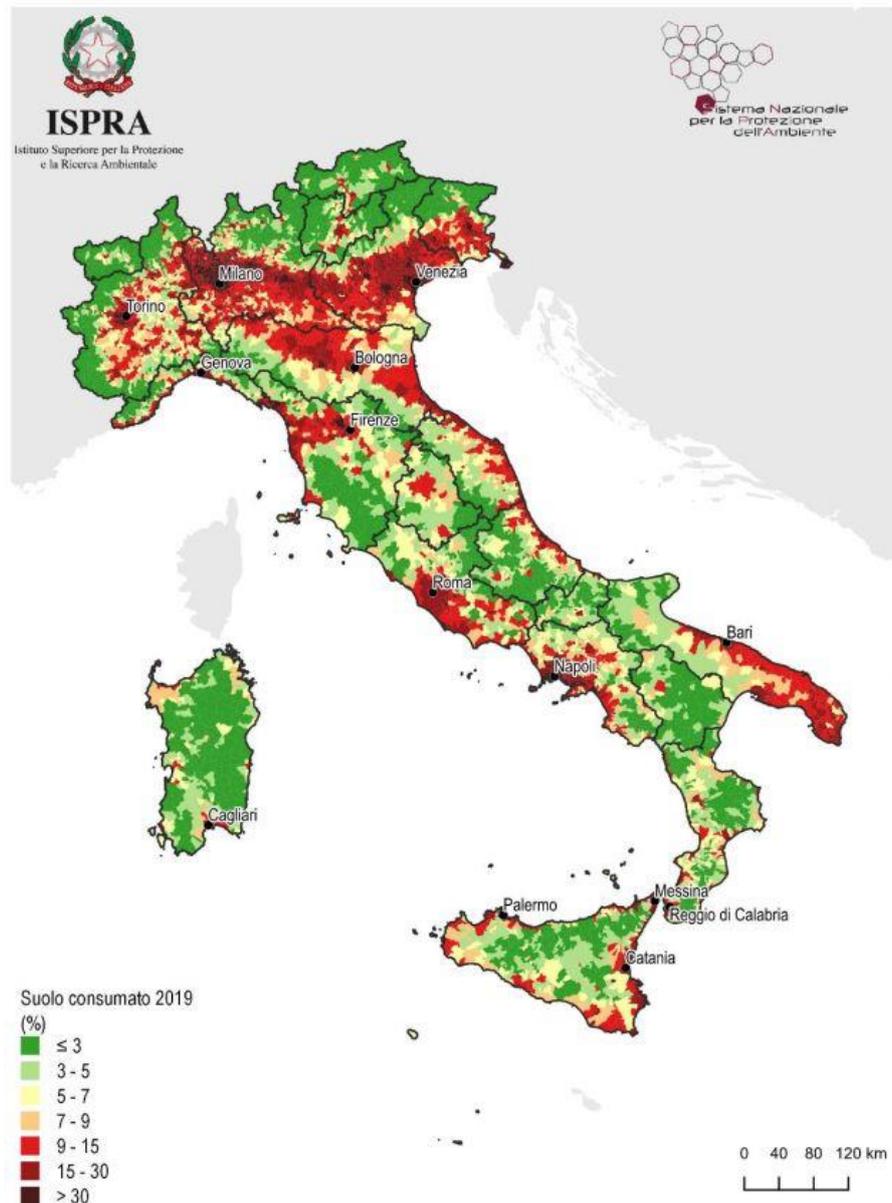


<sup>29</sup> C18, Istat, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011

<sup>30</sup> Rapporti ISPRA, Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Edizione 2018

“Il **consumo di suolo** è definito come la variazione da una copertura non artificiale (**suolo non consumato**) a una copertura artificiale del suolo (**suolo consumato**). È un processo associato alla perdita di suolo, risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, dovuta all’occupazione di una superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale con una copertura artificiale.”<sup>31</sup>

Diversamente, la direttiva 2007/2/CE definisce l’**uso del suolo** come una classificazione del territorio in base alla destinazione funzionale o socioeconomica presenti e programmate per il futuro: residenziale, industriale, commerciale, agricola, silvicola, ricreativa. Dal Rapporto 2020 del SNPA, Sistema nazionale per la protezione dell’ambiente,<sup>32</sup> si evidenzia che il consumo di suolo prosegue ad alterare il territorio con velocità elevate. Nell’ultimo anno, le nuove coperture artificiali hanno riguardato altri 57,5 km<sup>2</sup>, ovvero, in media, circa 16 ettari al giorno. Una crescita che fa perdere all’Italia quasi 2 m<sup>2</sup> di suolo ogni secondo. In



termini di percentuale, il suolo consumato rappresenta il 7,10% del suolo nazionale totale e i valori sono in crescita continua negli ultimi anni. In 13 regioni il suolo consumato supera il 5%, con i valori percentuali maggiori in Lombardia (12,05%), Veneto (11,87%) e Campania (10,30%), a seguire Emilia-Romagna, Puglia, Lazio, Friuli-Venezia Giulia e Liguria, con valori compresi tra il 7% e il 9%. La Valle d’Aosta è la regione con percentuale più bassa (2,15%), mentre la Lombardia risulta al primo posto anche in termini assoluti, con oltre

<sup>31</sup> Report di Sistema, SNPA 15 2020, Consumo di suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, pag 12

<sup>32</sup> Report di Sistema, SNPA 15 2020, Consumo di suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici

288.000 ettari di suolo impermeabilizzato, tanto che il 13,4% delle zone artificiali a livello nazionale si trova in questa regione, al contrario dei 7.000 ettari della Valle d'Aosta. Gli incrementi più elevati, evidenziati dal consumo di suolo netto nel 2019, si sono riscontrati in Veneto (+785 ettari), Lombardia (+642), Puglia (+625), Sicilia (+611) ed Emilia-Romagna (+404). La Valle d'Aosta è la regione più in linea col consumo "zero" di suolo, grazie a un aumento di soli 3 ettari, mentre Umbria, Liguria, Molise, Basilicata e Trentino-Alto Adige nel 2019 sono state caratterizzate da crescite inferiori ai 100 ettari. L'indicatore di consumo di suolo marginale restituisce valori negativi per le regioni con alto consumo di suolo in situazione di calo demografico. In particolare, Friuli-Venezia Giulia e Abruzzo mostrano valori negativi oltre la media nazionale (-417 m<sup>2</sup>/ab), sintomo di consumi di suolo spropositati in un contesto di decrescita demografica. Valori positivi dell'indicatore si ottengono nelle regioni dove i residenti sono in crescita rispetto all'anno precedente, ovvero in 4 zone: Veneto (in cui sono stati consumati 10.000 m<sup>2</sup> per ogni nuovo abitante), Lombardia (264 m<sup>2</sup>/ab), Trentino-Alto Adige (210 m<sup>2</sup>/ab) e Emilia-Romagna (590 m<sup>2</sup>/ab). Da una prima analisi dei dati, si riprova la propensione al consumo di suolo nelle zone più accessibili come quelle costiere, pianeggianti e nelle valli, così come nelle aree agricole in prossimità delle zone periferiche dei grandi centri urbani. In particolare, l'analisi del consumo di suolo nelle zone costiere viene valutato attraverso l'analisi a diversi intervalli dalla linea di costa: 300 m (in cui circa il 25% del territorio è stato consumato), tra 300 e 1.000 m (18,8%), tra 1 km e 10 km (8,7%) e oltre 10 km (6,5%). Questi dati rivelano che la quota maggiore di suolo consumato si trova nella prima fascia, dove i valori si affermano circa al 30% per molte regioni, con i valori più alti in Liguria (47%) e nelle Marche (45,7%); in Abruzzo, Emilia-Romagna, Campania, Lazio, Puglia, Calabria e Sicilia sfiorano o superano il 30%, mentre nelle regioni restanti i valori sono inferiori alla media nazionale del 22,8%.<sup>33</sup>

### **2.2.1 Politiche e indirizzi sul consumo di suolo**

Nel 2015, l'Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (UN, 2015), definiva gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile<sup>34</sup> adottati da più di 150 leader mondiali. Per la prima volta in oltre venti anni di mediazione da parte dell'O.N.U., è stato concluso un accordo vincolante e universale sul clima, accettato da tutti gli Stati. Il Documento "Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development" indicava, tra gli altri, alcuni target di particolare interesse per il territorio e per il suolo, da integrare nei programmi nazionali a breve e medio termine e da raggiungere entro il 2030:

- l'azzeramento del consumo di suolo netto entro il 2050 (Parlamento europeo e Consiglio, 2013);
- la protezione adeguata del suolo anche con l'adozione di obiettivi, in quanto risorsa essenziale del capitale naturale entro il 2020 (Parlamento europeo e Consiglio, 2013);

---

<sup>33</sup> Report di Sistema, SNPA 15 2020, Consumo di suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici

<sup>34</sup> Sustainable Development Goals - SDGs

- l'allineamento del consumo alla crescita demografica reale entro il 2030;
- il bilancio non negativo del degrado del territorio entro il 2030, Land Degradation Neutrality.

Con la sottoscrizione dell'Agenda, tutti i paesi, compresa l'Italia hanno accettato di partecipare ad un processo di monitoraggio di questi obiettivi gestito dalla Commissione Statistica delle Nazioni Unite, attraverso un sistema di indicatori, tra cui alcuni specifici sul consumo di suolo, sull'uso del suolo e sulla percentuale del territorio soggetto a fenomeni di degrado. Nell'attesa di norme specifiche a livello nazionale ed europeo, alcune amministrazioni pubbliche si sono attivate per fornire strumenti urbanistici che permettano di attuare gli obiettivi dell'Agenda 2030. In particolare, si riporta la **Legge Regionale 21 Dicembre 2017, n.24 dell'Emilia-Romagna: Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio**. Le normative precedenti erano pensate per gestire espansioni urbane e prevedevano processi di pianificazione complessi. La legge n.24<sup>35</sup> introduce il PUG, Piano urbanistico generale, che deve:

- orientare e incentivare al **riuso** e alla **rigenerazione** del territorio urbanizzato
- stabilire una specifica «strategia», per la **qualificazione** della città pubblica
- **limitare e disincentivare** la possibilità di nuovi insediamenti in espansione

Per realizzare questo radicale mutamento della pianificazione urbanistica, la legge introduce due misure fondamentali. La prima riguarda il **dimensionamento massimo complessivo (regionale) per le future previsioni insediative in espansione**, da qui al 2050, pari al 3% del territorio urbanizzato, nel 2017 le previsioni corrispondevano all'11%. Questo limite è riconosciuto a ciascun Comune o Unione di Comuni, ma al suo interno non sono computate le aree destinate ad opere pubbliche, insediamenti produttivi strategici e piani per l'edilizia popolare e convenzionata. La seconda misura invece incentiva gli interventi di riuso e rigenerazione all'interno del territorio urbanizzato mentre disincentiva gli interventi in espansione. In particolare, la legge introduce delle agevolazioni, delle semplificazioni e degli incentivi sia urbanistici che economico finanziari. Si riportano nello specifico la riduzione del contributo di costruzione, l'azzeramento del contributo straordinario, diritti edificatori aggiuntivi e deroghe all'osservanza di alcuni limiti per interventi di riqualificazione e rigenerazione urbanistica, di demolizione e ricostruzione, nuova costruzione e densificazione.

---

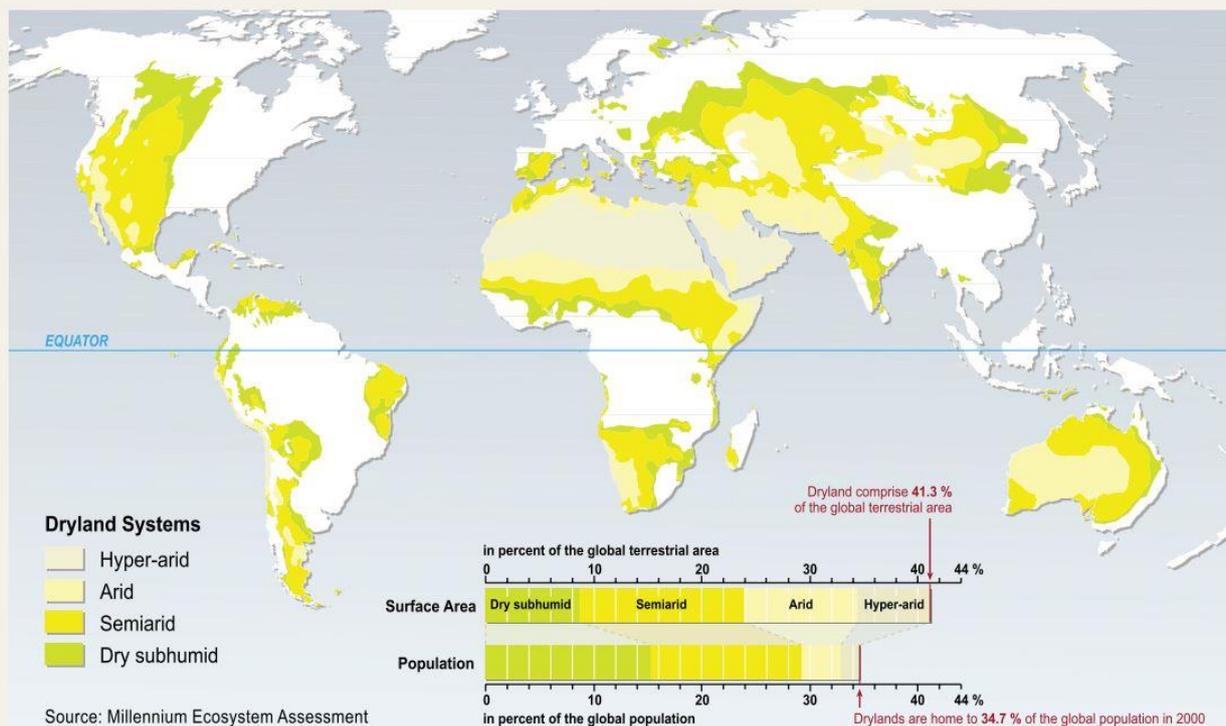
<sup>35</sup> <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/codice-territorio/materiali/Leprincipaliinnovazion.pdf/@@download/file/Le%20principali%20innovazion.pdf>

## 2.3 Degrado del suolo

“Il **degrado del suolo** è il fenomeno di alterazione delle condizioni del terreno dovuto alla riduzione o alla perdita di produttività biologica o economica a causa principalmente dell’attività dell’uomo.”<sup>36</sup> Oltre alla produttività, altri fattori come la copertura del suolo, l’erosione idrica, il contenuto di carbonio organico e la capacità di fornire servizi ecosistemici, possono essere utilizzati per valutare il livello di degrado del suolo. La **desertificazione** consiste nel livello estremo di degrado e viene definita come: la trasformazione progressiva di una regione fertile in desertica, per cause di ordine climatico come la siccità, di ordine geologico come l’erosione, o a causa dell’intervento dell’uomo, attraverso il disboscamento, l’agricoltura e il pascolo intensivi.<sup>37</sup> Il risultato è la *sterilità funzionale* del suolo, che si raggiunge quando un’area desertificata potenzialmente potrebbe essere soggetta a un recupero agricolo, ma con costi talmente alti da impedirlo.<sup>38</sup>

La mappa mostra le zone aride come definite dalla UNCCD<sup>39</sup>, cioè le terre in cui la precipitazione annuale è inferiore a due terzi (0,66) della potenziale evapotraspirazione, classificate in aree subumide secche (rapporto tra 0,50 e 0,65), semiaride, aride e iper-aride

Drylands include all terrestrial regions where the production of crops, forage, wood and other ecosystem services are limited by water. Formally, the definition encompasses all lands where the climate is classified as dry subhumid, semiarid, arid or hyper-arid. This classification is based on Aridity Index values<sup>†</sup>.



<sup>†</sup> The long-term mean of the ratio of an area's mean annual precipitation to its mean annual potential evapotranspiration is the Aridity Index (AI).

**Notes:** The map is based on data from UNEP Geo Data Portal (<http://geodata.grid.unep.ch/>). Global area based on Digital Chart of the World data (147,573,196.6 square km); Data presented in the graph are from the MA core database for the year 2000.

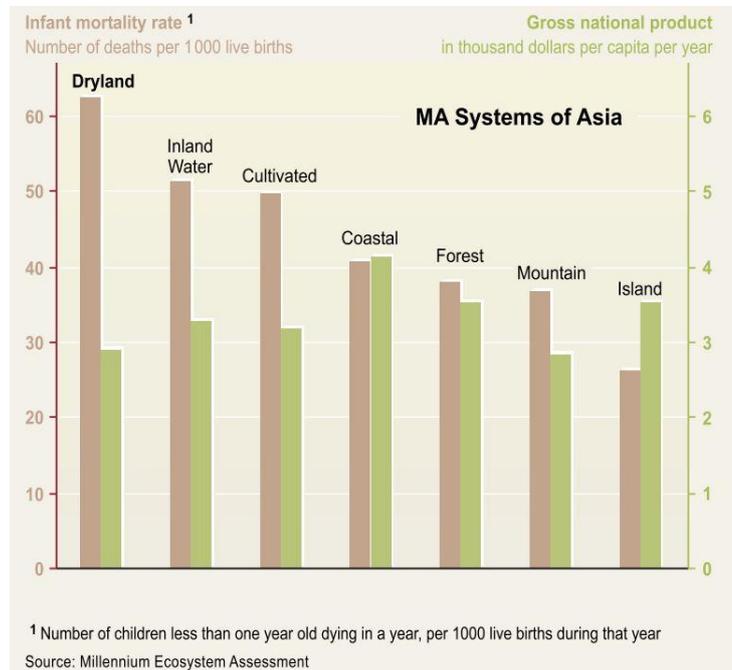
36 Report di Sistema, SNPA 15 2020, Consumo di suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici

37 [HTTPS://DIZIONARI.REPUBBLICA.IT/ITALIANO/D/DESERTIFICAZIONE.HTML](https://dizionari.repubblica.it/italiano/d/desertificazione.html)

38 [HTTPS://WWW.TRECCANI.IT/ENCICLOPEDIA/DESERTIFICAZIONE/](https://www.treccani.it/enciclopedia/desertificazione/)

39 Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla desertificazione (UNCCD)

(Quest'ultime con rapporto inferiore a 0,05 ). Le zone aride includono terre coltivate, boscaglie, arbusti, praterie, savane, zone semi-desertiche e deserti. I sistemi delle terre aride **coprono circa il 41% della superficie terrestre** e sono abitati da oltre 2 miliardi di persone, circa un terzo della popolazione mondiale. Le terre coltivate coprono circa il 25% delle zone aride, che ospitano anche il 50% circa del bestiame mondiale. L'attuale condizione socioeconomica della popolazione delle terre aride, di cui circa il 90% si trova nei paesi in via di sviluppo, è peggiore che in altre aree climatiche e la disponibilità di acqua dolce in queste zone dovrebbe essere ulteriormente ridotta sotto la media di 1.300 metri cubi pro-capite all'anno, già al di sotto della soglia di 2.000 m<sup>3</sup> richiesti per il benessere umano minimo e lo sviluppo sostenibile. Circa il 10-20% delle terre aride del mondo sono degradate.<sup>40</sup> La maggiore vulnerabilità è attribuita alle zone aride subsahariane e dell'Asia centrale. Ad esempio, in tre regioni chiave dell'Africa, il Sahel, il Corno d'Africa e



l'Africa sudorientale, si verificano in media gravi siccità una volta ogni 30 anni. Questa frequenza di siccità triplica il numero di persone esposte a una grave carenza idrica almeno una volta in ogni generazione, portando a gravi crisi alimentari e sanitarie. La degradazione dei terreni ha forti impatti negativi anche nelle zone non aride; le aree colpite possono talvolta essere situate a migliaia di chilometri dalle aree desertiche, ed essere danneggiate dallo sfruttamento del suolo o da altri fattori. Gli impatti biofisici che ne derivano includono tempeste di polvere, inondazioni a valle, compromissione della capacità globale di sequestro del carbonio e cambiamenti negli ecosistemi regionali e globali. Gli impatti sulla società riguardano in particolare la perdita di una fonte primaria di sostentamento come il suolo e la migrazione umana, che comportano spesso un generico abbandono del territorio.  
<sup>41</sup> Come si osserva nel grafico elaborato dal Millennium Ecosystem assessment, il tasso di mortalità infantile risulta maggiore nei territori aridi, dove il prodotto nazionale lordo risulta invece all'ultimo posto insieme alle zone montuose. La perdita globale di reddito dovuta alla desertificazione, secondo la banca mondiale ammonterebbe a 42 miliardi di dollari all'anno.

**“La degradazione del suolo** comincia in aree ristrette, prosegue allargandosi per stadi successivi, affrontando forti peggioramenti nei periodi maggiormente asciutti o regressioni

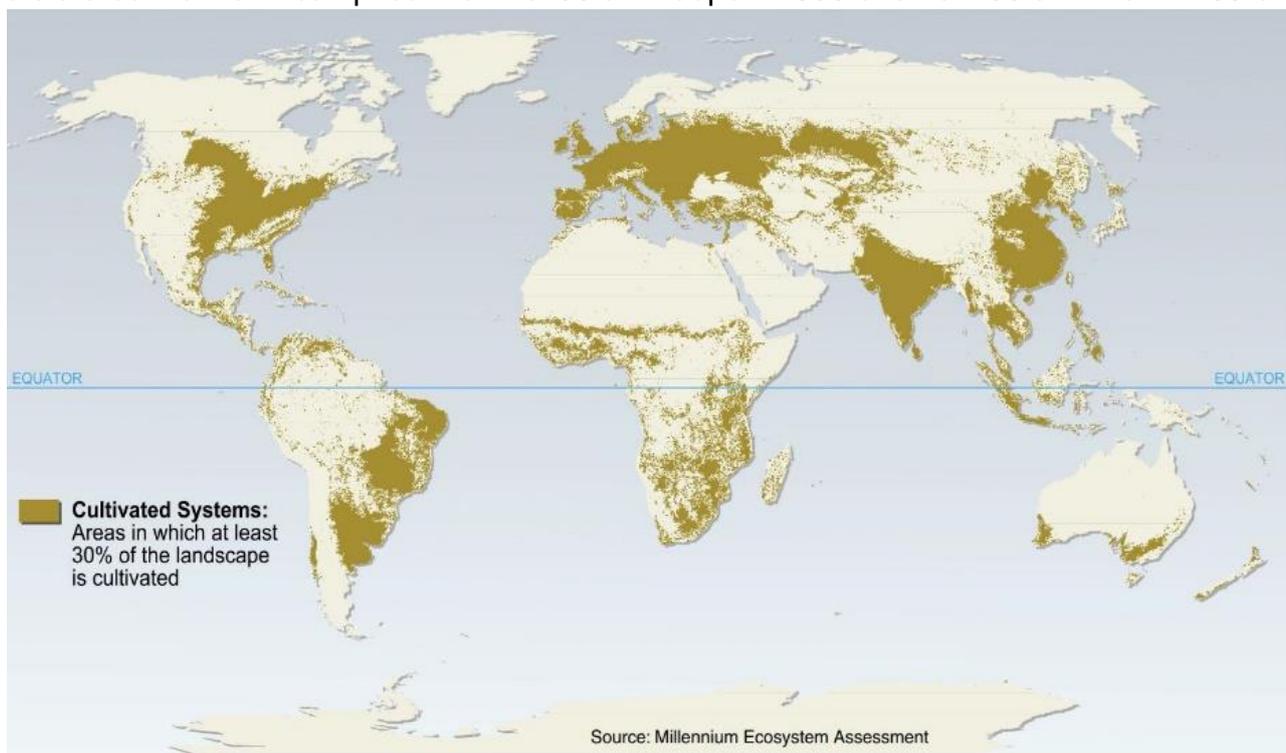
<sup>40</sup> Ecosystems and human well-being. Desertification synthesis, Millennium Ecosystem assessment

durante quelli più umidi.<sup>42</sup> Questo fenomeno non va considerato soltanto nello stadio terminale, bensì in quell'ampio processo attivato ed alimentato dalla combinazione di un complesso di fenomeni quali:

- l'erosione del suolo;
- la variazione dei parametri strutturali del suolo;
- la salinizzazione;
- la rimozione della coltre vegetale e del materiale rigenerativo;
- le variazioni del regime pluviometrico;
- le interazioni tra la superficie terrestre e l'atmosfera, etc.

I terreni degradati sono cresciuti in Europa, nei primi 70 anni del 20° secolo del 40%, specialmente a causa dello sfruttamento irrazionale delle zone a clima sub-arido; in seguito, le pratiche agricole intensive, lo sfruttamento dei pascoli, la deforestazione, gli incendi e i processi di urbanizzazione hanno partecipato a quadruplicarne l'estensione. L'Europa non è esente da questo problema, addirittura si stima che il 65% delle terre agricole aride, semi-aride e secco-subumide del continente europeo presentino già alti valori di degrado del suolo. In Italia le zone più colpite si trovano in Sicilia, Puglia, Sardegna e Pianura Padana.

Il cambiamento più significativo nella struttura degli ecosistemi è stata la trasformazione di circa un quarto (24%) della superficie terrestre in sistemi coltivati. Più superficie di terreno è stata convertita in campi coltivati nei 30 anni dopo il 1950 che nei 150 anni tra il 1700 e il



---

<sup>42</sup> <https://www.arpae.it/temi-ambientali/siccita/scopri-di-piu/scopri-desertificazione>

1850.<sup>43</sup> Come riporta il progetto sperimentale SoCo<sup>44</sup> richiesto dal Parlamento Europeo; “Nel corso dei secoli, l’agricoltura ha contribuito alla creazione e alla salvaguardia di una ricca varietà di paesaggi e habitat, tuttavia, può anche avere effetti negativi sull’ambiente. Il degrado del suolo, l’inquinamento del suolo, dell’acqua e dell’aria, la frammentazione degli habitat e la scomparsa della fauna selvatica possono essere conseguenza di pratiche agricole inappropriate. Il suolo può subire infatti una serie di processi degradativi, alcuni dei quali sono strettamente correlati all’agricoltura: erosione idrica, eolica e meccanica, compattazione, diminuzione del contenuto di carbonio organico e riduzione della biodiversità, salinizzazione e sodificazione, nonché contaminazione da metalli pesanti, pesticidi, nitrati e fosfati.” Ad esempio, un’errata irrigazione può portare alla salinizzazione<sup>45</sup> del terreno che ostacola lo sviluppo della pianta, riduce la fertilità e aumenta l’impermeabilità del suolo. L’utilizzo massiccio di fertilizzanti e le alte temperature comportano la diminuzione della sostanza organica, inoltre spesso assistiamo ad un compattamento del terreno che ne riduce la permeabilità e provoca dilavamento, oltre ad aumentare il rischio idrogeologico. Nella dimensione locale i coltivatori possono cambiare approccio, limitare pratiche intensive che trascurano la salvaguardia del suolo, applicando invece tecniche di **agricoltura Conservativa** e **Biologica**. Nel complesso, la prevenzione è un modo molto più efficace per far fronte alla desertificazione, poiché i successivi tentativi di riabilitazione delle aree desertificate sono costosi e tendono a fornire risultati limitati.<sup>46</sup>

Come riporta l’AIAB<sup>47</sup>, “l’agricoltura biologica è un metodo di produzione che ha i suoi principi di base nella cura della fertilità del suolo e dell’equilibrio dell’ambiente in cui si coltiva, con l’obiettivo di aumentare la biodiversità nel suolo e nel soprassuolo per la ricerca dell’equilibrio nutrizionale e ambientale.”

Le pratiche conservative consistono nel preservare e incrementare la **fertilità organica**, tramite l’uso di fertilizzanti organici compostati, l’interramento dei residui colturali, la semina su sodo, le consociazioni di diverse piante e le rotazioni di colture leguminose. Le **fasce tampone**, siepi e alberature, sono in grado di ridurre gli effetti dell’erosione idrica ed eolica, bloccano il trasporto di pesticidi e inquinanti. Diventano habitat per la biodiversità e fonte di prodotti come frutta, legname e foraggio. Conservare la **permeabilità** non rivoltando il terreno oltre i 25/30 cm e garantendo la rottura degli strati più profondi con attrezzi discissori. La ripuntatura facilita l’infiltrazione di acqua, radici e nutrienti. Infine la coltura secondo le curve di livello e i terrazzamenti, riducono l’erosione idrica e il ruscellamento superficiale.

---

<sup>43</sup> Ecosystems and human well-being, Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment

<sup>44</sup> Sustainable Agriculture and soil conservation SoCo 2007-2009

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/IT%20Fact%20Sheet.pdf>

<sup>45</sup> Salinizzazione In agraria, accumulo di sali (cloruri, carbonati, solfati) nel terreno in quantità tale da renderlo inadatto alle colture. Essa è imputabile a cause antropiche e principalmente all’irrigazione.

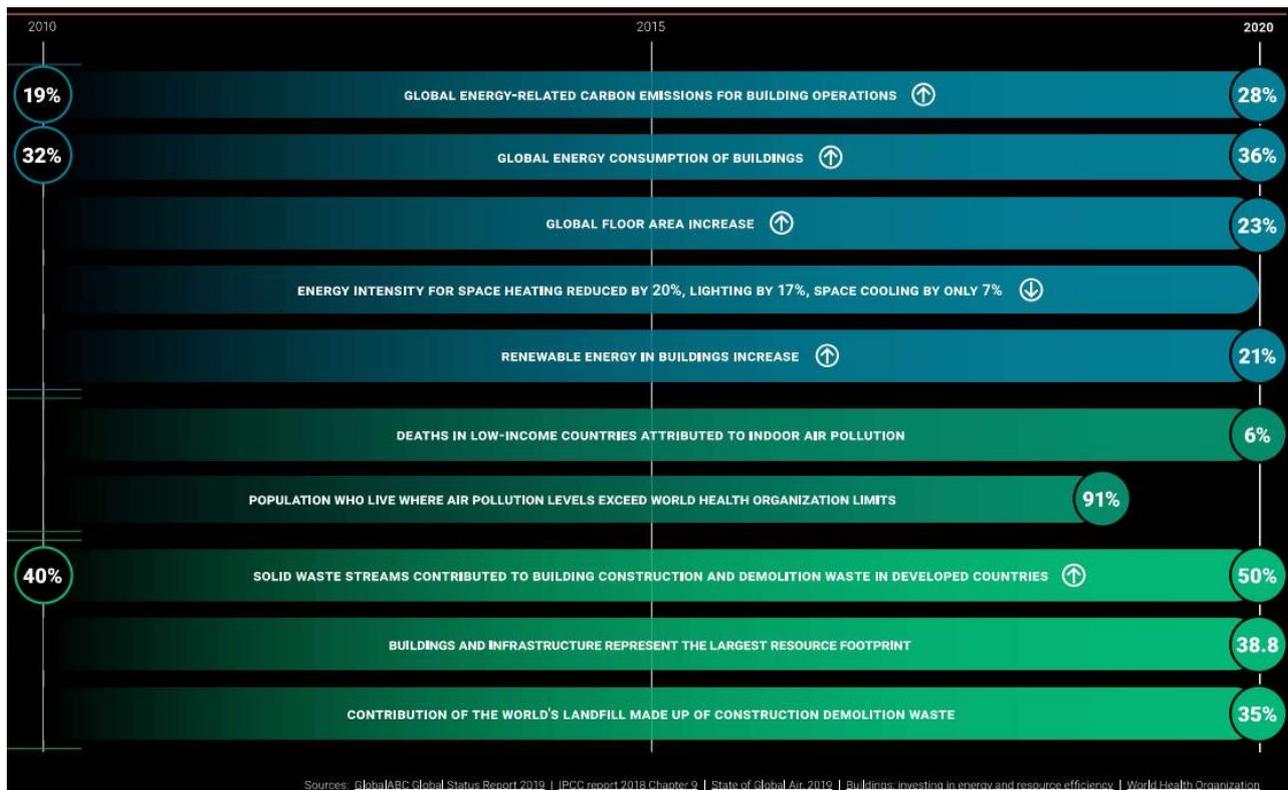
<sup>46</sup> Ecosystems and human well-being. Desertification synthesis, Millennium Ecosystem assessment

<sup>47</sup> Associazione Italiana Agricoltura Biologica, <https://aiab.it/come-si-coltiva-biologico/>

## 2.4 Impatto ambientale del settore edile

L'ultimo rapporto di valutazione dei cambiamenti climatici (AR5) presentato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ha riscontrato un picco storico delle concentrazioni di anidride carbonica, metano e protossido di azoto in atmosfera: nel periodo fra il 2002 e il 2011, le emissioni dovute alle attività umane sono aumentate del 54% rispetto al 1990. Queste emissioni hanno contribuito al riscaldamento globale che risulta incrementato di 0,85 C° fra il 1880 e il 2012; 0,72 °C fra il 1951 e il 2012, provocando rilevanti danni ambientali come l'innalzamento del livello dei mari, l'aumento delle radiazioni ultraviolette ed eventi atmosferici più violenti e pericolosi. Secondo alcune analisi dell'IPCC, assisteremo ad un incremento delle temperature medie ambientali di 3 °C entro il 2100 con il rischio di provocare danni di seria entità a livello ambientale.

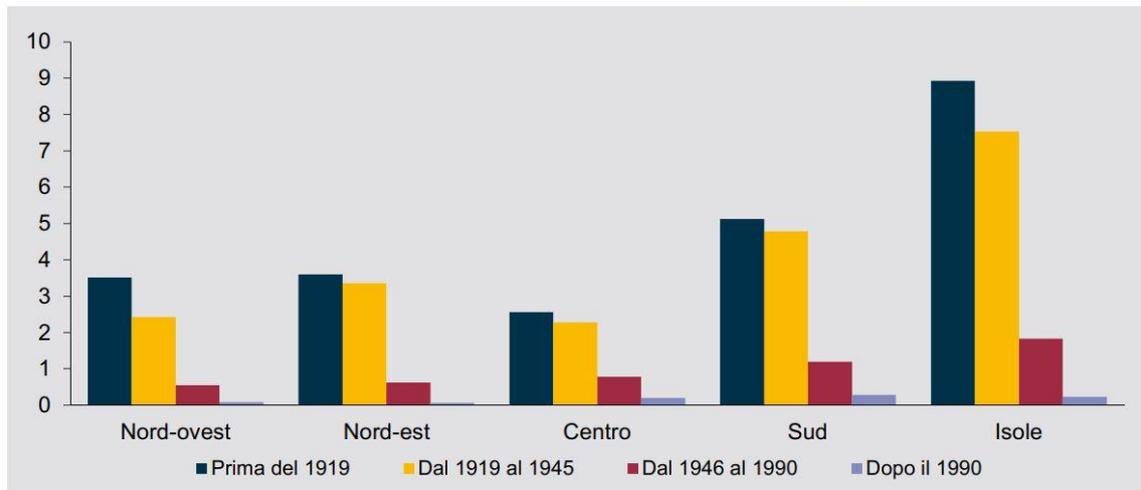
**Il World GBC annual report 2020**, analizza i principali impatti del settore delle costruzioni e dei consumi legati alla fruizione degli edifici. Le emissioni di anidride carbonica per la produzione di energia ad uso edilizio sul totale di emissioni liberate, sono passate dal 19% nel 2010 al 28% nel 2020. Gli edifici, a livello globale, consumano il 36% dell'energia totale utilizzata e in soli 10 anni c'è stato un incremento del 23% della superficie edificata. Nello stesso periodo però, l'intensità energetica necessaria al riscaldamento si è ridotta del 20%, quella per l'illuminazione del 17% e quella per il raffrescamento del 7%.



**In Europa** gli edifici e il settore delle costruzioni sono responsabili del 36% delle emissioni annuali di CO<sub>2</sub>, del 40% del consumo di energia, del 50% delle estrazioni di materie prime e del 21% di acqua potabile. Il settore dell'edilizia residenziale in Europa rappresenta circa il 70% del parco immobiliare totale. In Italia questo settore diventa ancora più importante se si considera che la composizione del patrimonio edilizio italiano è stato costruito, per circa il 30%, prima del 1945.<sup>48</sup> Un quarto dell'intero patrimonio residenziale è costituito da edifici realizzati prima del 1946; in particolare il 15% risulta costruito prima del 1919.<sup>49</sup>

**Edifici residenziali in pessimo stato di conservazione per epoca di costruzione e ripartizione geografica**

Censimento 2011, per 100 edifici residenziali della stessa epoca di costruzione



Fonte: Istat, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011 (R)

Le basse prestazioni energetiche di questi edifici hanno contribuito ad aumentare le emissioni dannose per l'ambiente, che si sono unite al resto delle azioni impattanti tipiche del settore edilizio. Proprio per questo è diventato necessario un approccio sostenibile del settore edilizio, che potesse portare avanti lo sviluppo e la costruzione di edifici sempre più attenti alla salvaguardia dell'ambiente.

Riguardo all'utilizzo di **risorse e materie prime**, considerando che circa il dieci per cento dell'economia mondiale ruota intorno al settore delle costruzioni, gli edifici e il loro funzionamento rappresentano un ambito altamente impattante. Un sesto delle acque dolci del pianeta sono impiegate nel settore, un quarto dei legnami vengono utilizzati in architettura, addirittura i due quinti delle materie prime e dell'energia sono assorbite dal settore e dai suoi indotti, dove vengono impiegati due tonni di pietre, ghiaia e terra grezza. La costruzione di edifici e infrastrutture rappresenta il principale settore nel consumo delle risorse con 38,8 miliardi di tonnellate all'anno. Il flusso di rifiuti solidi derivanti dalla costruzione e dalla demolizione di edifici rappresenta il 50% del totale. I rifiuti prodotti dalle azioni di demolizione edile costituiscono il 35% del volume delle discariche mondiali.<sup>50</sup>

<sup>48</sup> (<https://www.worldgbc.org/green-building-sustainable-development-goals>)

<sup>49</sup> C18, Istat, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011

<sup>50</sup> World GBC annual report 2020

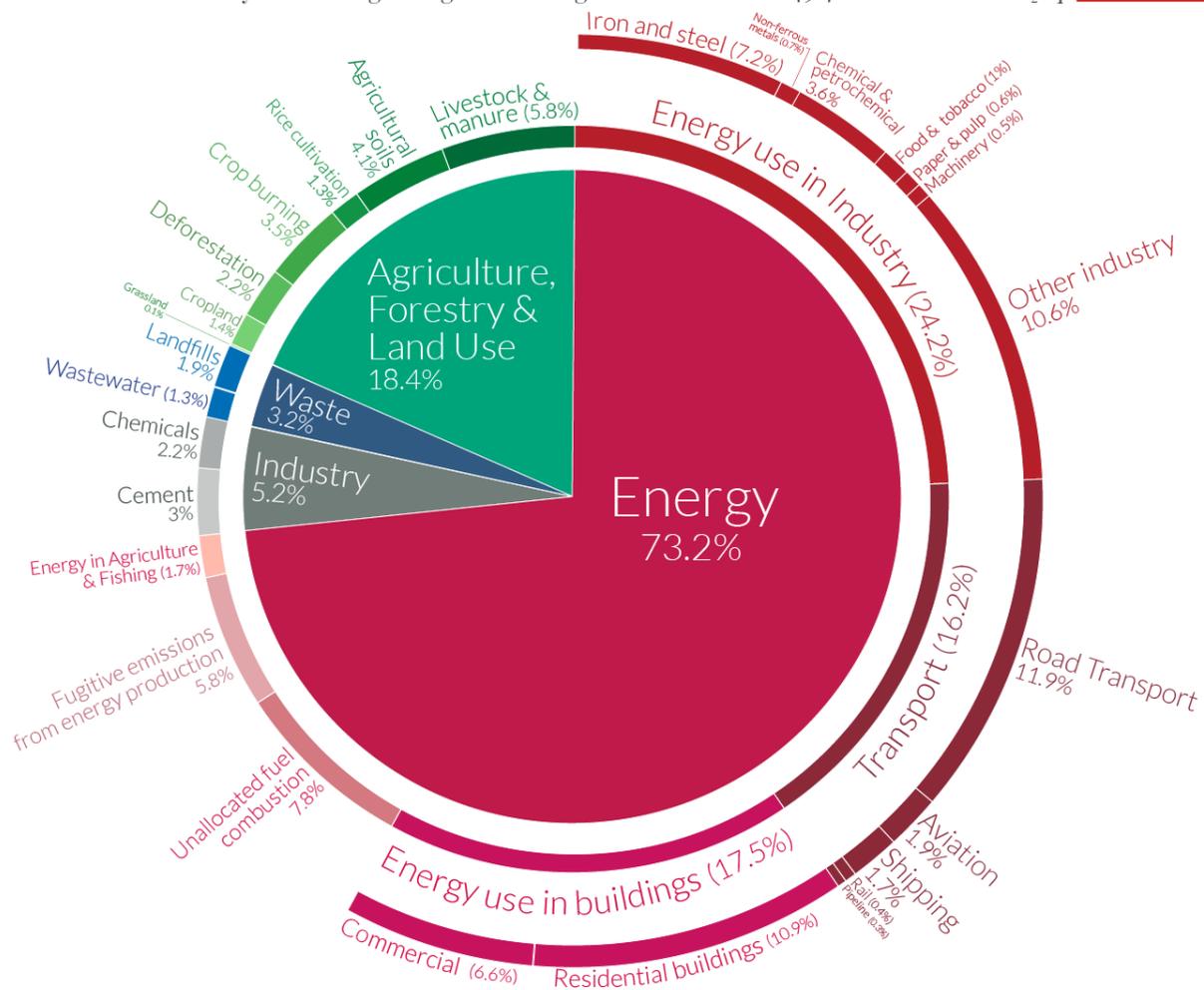
## 2.4.1 Emissioni

I “greenhouse gas”, o gas serra sono per lo più molecole naturali: anidride carbonica, metano, ossido nitroso, ozono e clorofluorocarburi. Queste sostanze sono responsabili dell’effetto serra. Una frazione di radiazioni solari che raggiunge la superficie terrestre viene riflessa sotto forma di raggi infrarossi, ovvero di energia termica. I gas serra rinviano a loro volta molti di questi raggi verso la superficie della terra, mantenendone così la temperatura superficiale. Quest’ultima si aggira sui 15 °C, mentre si calcola che in assenza dei gas serra sarebbe di circa -18 °C. L’industrializzazione ha provocato un aumento della loro concentrazione atmosferica a tal punto da risultare circa 1,3 volte maggiore di quella di fine Ottocento. Le attività dell’uomo che influiscono maggiormente su questo incremento sono quelle che bruciano combustibili quali il carbone, il metano e il petrolio, cioè processi industriali, scarichi di automobili, centrali termoelettriche, attività agricole, zootecniche e la deforestazione.<sup>51</sup>

### Global greenhouse gas emissions by sector



This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO<sub>2</sub>eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world’s largest problems.  
 Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

51 [https://www.treccani.it/enciclopedia/effetto-serra\\_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/effetto-serra_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/)

Il grafico di “OurWorldinData”<sup>52</sup> riporta che il Consumo energetico negli edifici genera il 17,5% delle emissioni totali di gas serra:

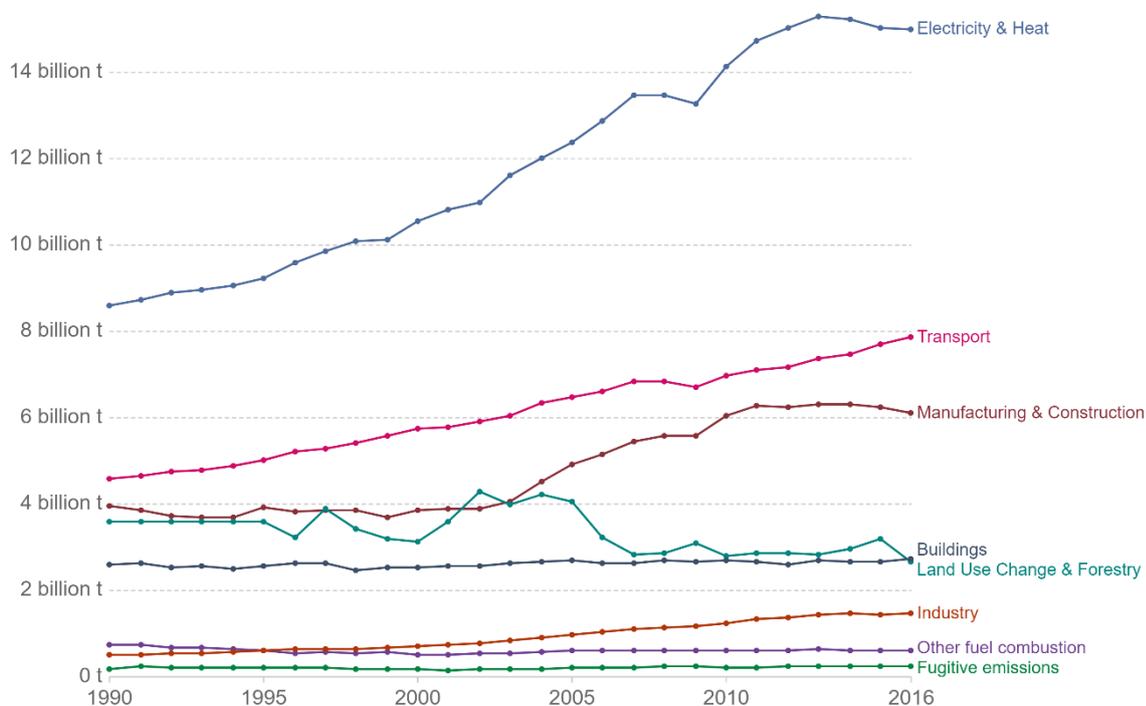
- Edifici residenziali (10,9%): emissioni derivanti dalla generazione di elettricità per illuminazione, elettrodomestici, cottura dei cibi e riscaldamento domestico.
- Edifici commerciali (6,6%): emissioni legate alla generazione di elettricità per illuminazione, riscaldamento in edifici commerciali come uffici, ristoranti e negozi.

Si evidenziano inoltre:

- L’industria del cemento (3%): l’anidride carbonica viene prodotta come sottoprodotto di un processo di conversione chimica nella produzione del clinker, un componente del cemento. In questa reazione, il calcare (CaCO<sub>3</sub>) viene convertito in calce (CaO) e produce CO<sub>2</sub> come sottoprodotto.
- Altre industrie (10,6%): emissioni legate all’energia dalla produzione in altri settori, tra cui estrazione mineraria ed estrattiva, edilizia, tessile, prodotti in legno e attrezzature di trasporto.

Questo grafico mostra la distribuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> tra i vari settori. La ripartizione globale della CO<sub>2</sub> è simile a quella dei gas serra; infatti, le principali fonti di emissioni sono

CO<sub>2</sub> emissions by sector, World



Source: CAIT Climate Data Explorer via. Climate Watch

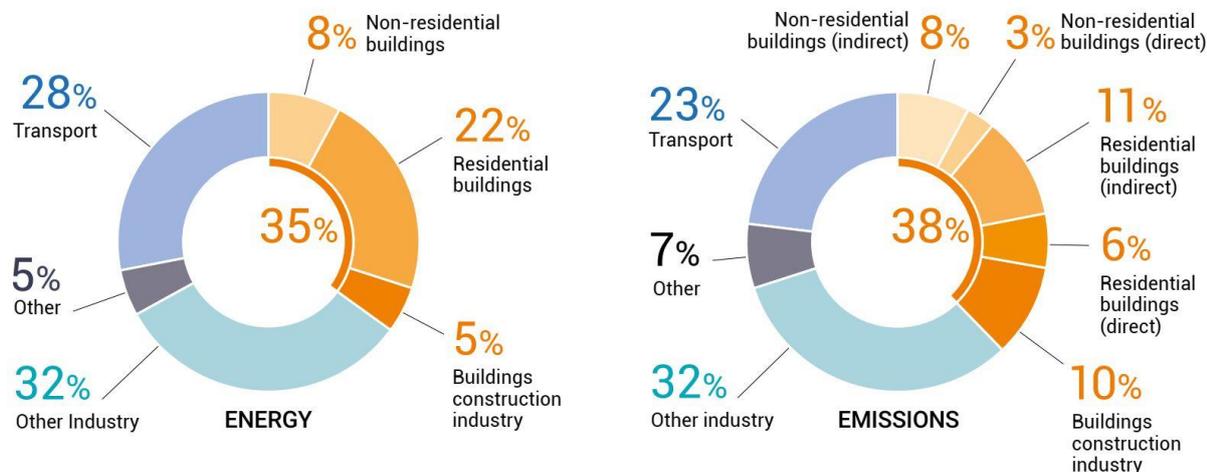
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

<sup>52</sup> Research and data to make progress against the world’s largest problems.

<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>

la produzione di elettricità e del riscaldamento degli edifici, seguiti dai trasporti, dalla produzione industriale e dall'edilizia. Come per le emissioni totali di gas serra, questa ripartizione varia da paese a paese.

#### Global share of buildings and construction final energy and emissions, 2019



Notes: Buildings construction industry is the portion (estimated) of overall industry devoted to manufacturing building construction materials such as steel, cement and glass. Indirect emissions are emissions from power generation for electricity and commercial heat.  
Sources: (IEA 2020d; IEA 2020b). All rights reserved. Adapted from "IEA World Energy Statistics and Balances" and "Energy Technology Perspectives".

Come riporta il "2020 Global Status report for buildings and construction", le emissioni di CO2 del settore edile sono le più alte mai registrate. Nello specifico, la quota di emissioni derivante dal consumo energetico degli edifici ha raggiunto circa 10 Gt di CO2, ovvero il 28% delle emissioni di CO2 globali. Considerando anche le emissioni del settore della costruzione, per trasporto, lavorazione e cantierizzazione, questa quota aumenta al 38% delle emissioni globali di CO2. Da questi dati si evince che gli impatti dovuti al funzionamento degli edifici sono il triplo rispetto a quelli dovuti alla fase di costruzione.

L'aumento delle emissioni del settore edilizio è dovuto a un continuo utilizzo di carbone, petrolio e gas naturale per il riscaldamento e la cottura di alimenti, con livelli di attività più elevati nelle regioni in cui la produzione di elettricità proviene ancora principalmente da

**Table 1 - IEA Buildings operation and construction emissions estimates, 2019**

	2019 (MtCO2)	Share
<b>Buildings use phase</b>	<b>9953</b>	
Coal	496	9% direct emissions
Oil	939	
Natural gas	1663	
Electricity and heat	6855	19% indirect emissions
<b>Buildings construction</b>	<b>130</b>	<b>10% indirect buildings and construction value chain emissions</b>
Construction energy use	130	
<b>Material manufacturing</b>	<b>3430</b>	
Cement- and steel- manufacturing for construction	2038	
Other	1391	
<b>Buildings and construction value chain</b>	<b>13512</b>	<b>38% of total energy related emissions</b>

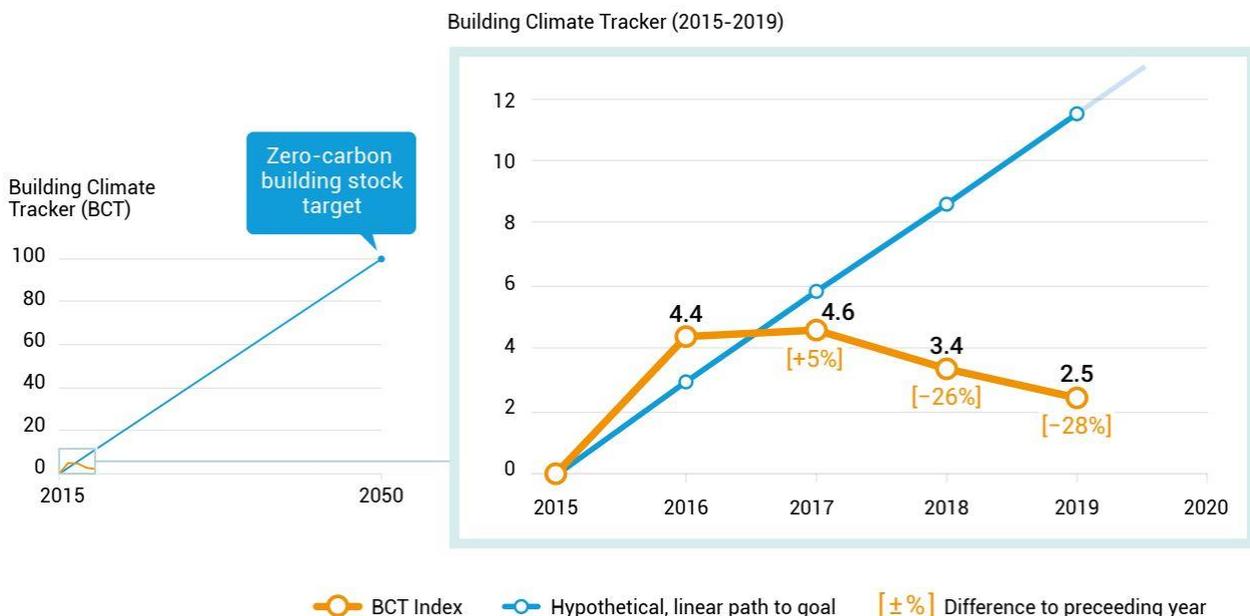
Source:(IEA 2020b). All rights reserved. Adapted from "Energy Technology Perspectives 2020"

combustibili fossili. Sebbene l'utilizzo dell'elettricità comporti basse emissioni inquinanti dirette, rappresenta però crescenti emissioni indirette legate alla sua produzione, e risulta un punto nevralgico dato che il consumo di elettricità negli edifici rappresenta quasi il 55% del consumo globale.

Le emissioni derivanti dalla produzione e dall'assemblaggio dei materiali edili sono causate soprattutto dalle industrie del cemento e dell'acciaio. La diffusione globale della tipologia edilizia a torre ha incrementato la domanda di questi due materiali e l'aumento delle relative emissioni, ottenendo però anche una maggiore durevolezza nel tempo delle strutture. Il settore delle costruzioni, a livello globale, rappresenta circa il 50% della domanda di cemento e il 30% per l'acciaio. Questi dati mostrano la necessità di una doppia strategia per ridurre in modo drastico le emissioni legate all'edilizia; da un lato attuare la decarbonizzazione del settore energetico a favore delle energie rinnovabili e dall'altro implementare strategie sui materiali e sulle prestazioni energetiche che riducano le emissioni del ciclo di vita degli edifici.

Per ottenere un patrimonio edilizio a zero emissioni entro il 2050, l'AIE<sup>53</sup> stima che le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> degli edifici dovrebbero diminuire del 50% e le emissioni indirette per la produzione di energia del 60% entro il 2030. Questi obiettivi dovrebbero tradursi in una diminuzione delle emissioni del settore edile di circa il 6% all'anno dal 2020 al 2030. Per fare un confronto, le emissioni di CO<sub>2</sub> del settore energetico globale sono diminuite del 7% durante la pandemia. Il Buildings Climate Tracker (BCT index) tiene traccia dei progressi

#### Buildings Climate Tracker (BCT): Decarbonisation index trend for buildings and construction

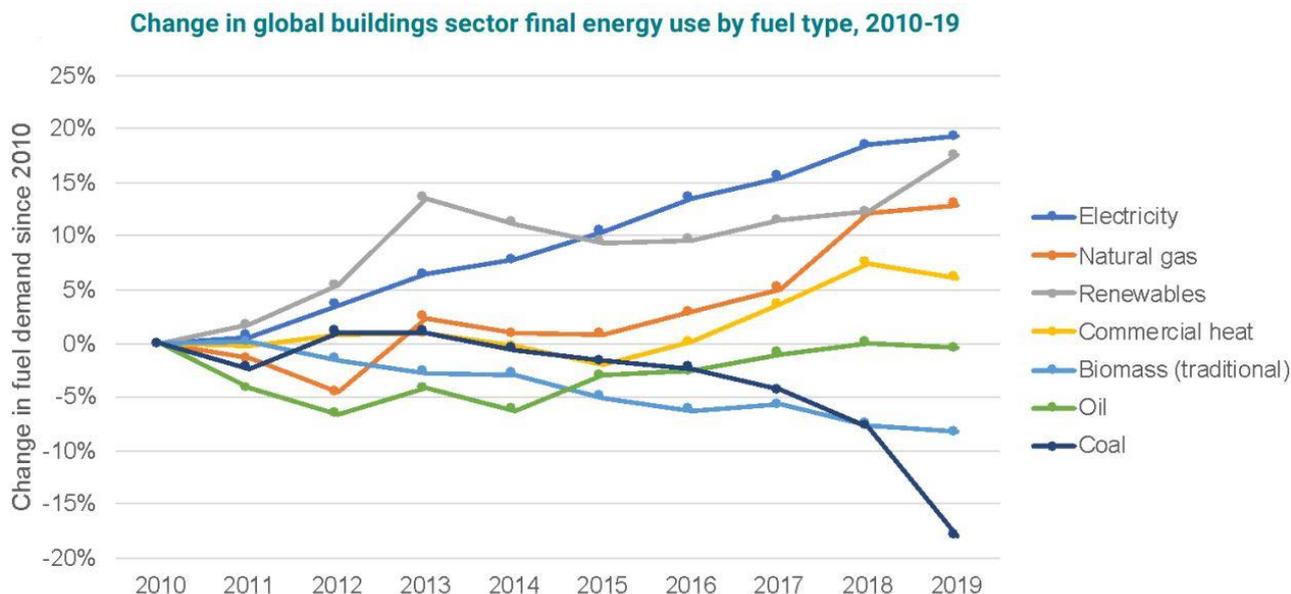


This Buildings Climate Tracker (BCT) is comprised of the following seven indicators: Incremental energy efficiency investment in buildings (global, \$bn); Building Energy Codes (number of countries); Green Building Certifications (cumulative growth); NDCs with building sector action (Number of Countries); Renewable Energy Share in Final Energy in Global Buildings (%); Building Sector Energy unit Intensity (kWh/m<sup>2</sup>); CO<sub>2</sub> emissions.

del settore nella decarbonizzazione in tutto il mondo. Utilizza i dati di sette indicatori globali inclusi gli investimenti per l'efficienza energetica e gli incentivi nazionali. L'indice rileva che il progresso annuale della decarbonizzazione sta rallentando e, di fatto, si è quasi dimezzato dal 2016 al 2019. Per riportare il BCT index ai livelli del percorso lineare in azzurro, (Hypothetical, linear path to goal) al fine di raggiungere zero emissioni entro il 2050, si stima che tutti gli attori dell'edilizia dovrebbero aumentare le azioni di decarbonizzazione di un fattore 5.

## 2.4.2 Energia

Il consumo energetico globale per il funzionamento degli edifici è stato di circa 130 EJ, che corrisponde circa al 30% del consumo totale, e di ulteriori 21 EJ per le nuove costruzioni, cioè il 5% della domanda totale. Il consumo di elettricità negli edifici rappresenta ora circa il 55% del consumo globale. Il 2019 ha segnato una stabilizzazione del consumo energetico degli edifici per la prima volta dal 2012. Il suo mancato aumento è dovuto al passaggio progressivo dall'uso di biomassa, petrolio e carbone all'elettricità e al gas naturale con efficienze più elevate. Tuttavia, l'utilizzo di energia rinnovabile è cresciuto di circa il 6% dal



Source: IEA (2020b). All rights reserved. Adapted from "Energy Technology Perspectives 2020"

2018, segnando una crescita maggiore rispetto agli anni precedenti, arrivando a superare il carbone come fonte di energia.

In tutto il mondo, il consumo energetico degli edifici rimane una percentuale significativa e diversificata della domanda energetica complessiva. Nel 2019, gli edifici hanno assorbito il 57% del consumo totale di energia in Africa e il 32% delle emissioni di CO2 legate al processo. Nel Sud-Est asiatico, in Cina e in India il consumo di energia negli edifici ha rappresentato il 26% del consumo totale e il 24% di CO2 correlata, mentre in Centro e Sud America il 24% del consumo totale di energia e il 21% delle emissioni totali di CO2.

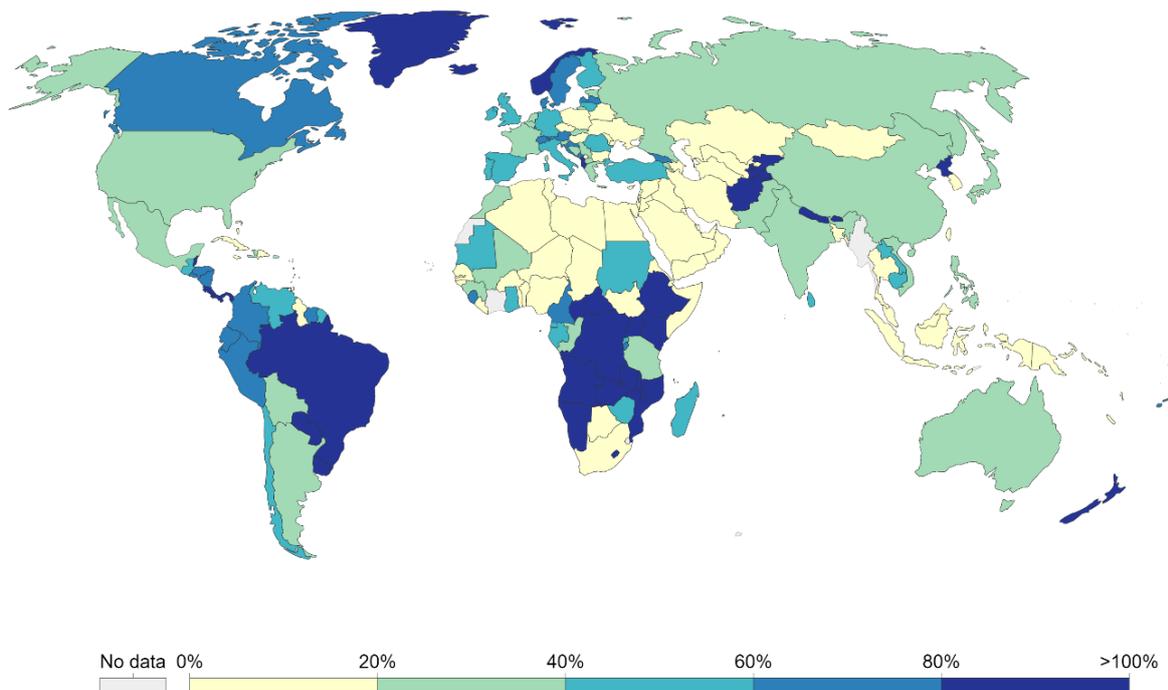
### 2.4.3 Energie rinnovabili

Nel 2019, circa l'11% dell'energia primaria globale proveniva da tecnologie rinnovabili.<sup>54</sup> Il consumo di energia primaria rappresenta principalmente la somma di elettricità, trasporti e riscaldamento. A livello globale si osserva che l'energia idroelettrica è di gran lunga la più grande fonte rinnovabile moderna se si esclude l'utilizzo di biomassa, ma anche l'impiego di energia eolica e solare stanno crescendo rapidamente.

L'elettricità costituisce solo una componente del consumo di energia. Poiché i trasporti e il riscaldamento tendono ad essere settori più difficili in cui attuare la decarbonizzazione a causa della loro dipendenza da petrolio e gas. Perciò le energie rinnovabili tendono ad avere una quota maggiore nel settore elettrico, di cui il 55% è impiegato negli edifici, rispetto al consumo energetico totale. Questo grafico mostra la quota di elettricità che proviene da tecnologie rinnovabili, che a livello globale, si attesta attorno al 25%.

#### Share of electricity production from renewables, 2020

Renewables includes electricity production from hydropower, solar, wind, biomass, and waste, geothermal, wave and tidal sources.

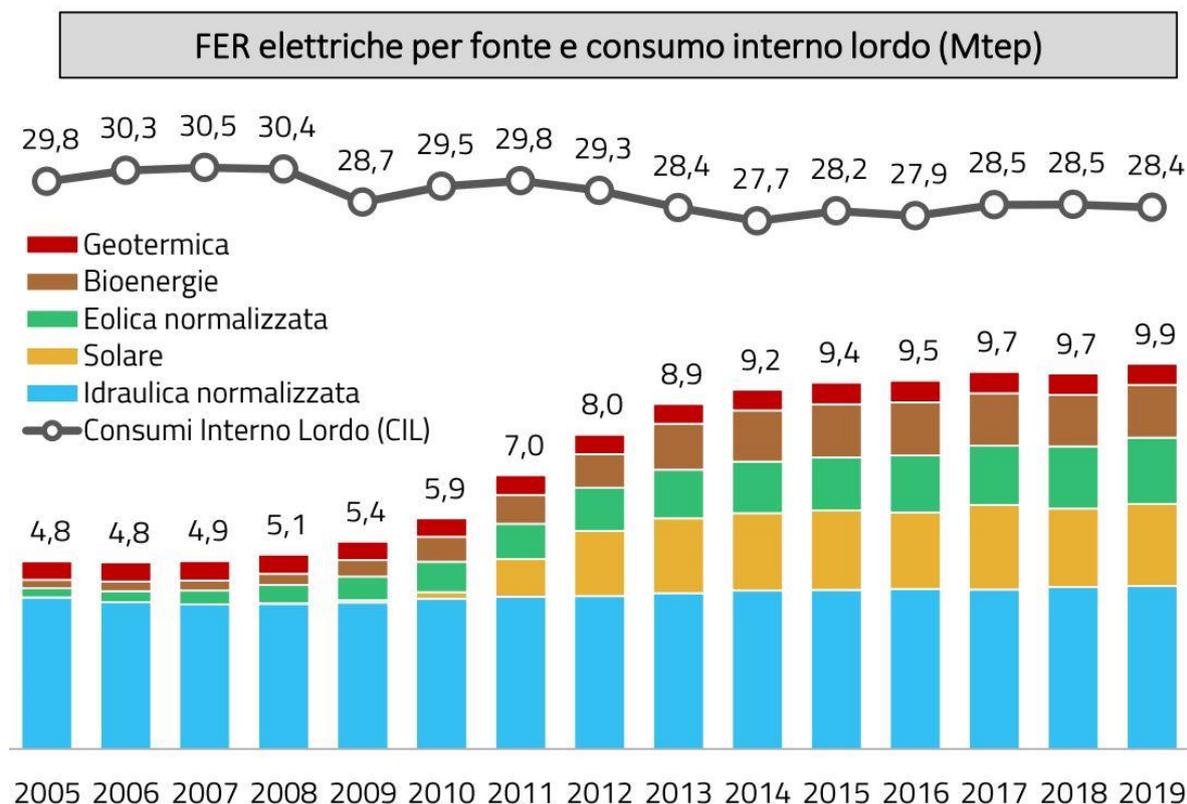


Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember (2021)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

<sup>54</sup> <https://ourworldindata.org/renewable-energy>

Il rapporto del GSE<sup>55</sup> 2019, è un documento che mette a confronto i dati delle energie rinnovabili in Italia con quelli dell'Europa. Nel 2019 il 36% del consumo finale lordo di energia in Italia è stato coperto da prodotti petroliferi, il 27% da gas e il 23% da energia elettrica, in parte rinnovabile. Come si osserva nel rapporto del GSE, la percentuale di quota energetica coperta da fonti rinnovabili (FER) in Italia nel 2019 si è attestata al 18,2%. A livello settoriale, nel 2019, le fonti energetiche rinnovabili hanno coperto il 35,0% della produzione elettrica, il 19,7% dei consumi termici e il 9,0% dei consumi per i trasporti. In Italia tra il 2005 e il 2019 i consumi di energia da FER sono raddoppiati, passando da 10,7 Mtep<sup>56</sup> a 21,9 Mtep, parallelamente a una diminuzione dei consumi finali lordi complessivi (CFL). Scendendo ulteriormente di livello si scopre che nel settore elettrico la fonte che nel 2019 ha fornito il contributo principale alla produzione di energia da FER è quella idraulica con il 41%; seguono il solare fotovoltaico al 21% , le bioenergie al 17 %, l'eolico 17%, bioenergie 13% e la geotermia 5%. Nel segmento termico, invece, le fonti principali sono state la biomassa solida circa 7 Mtep, utilizzata soprattutto nel settore domestico in forma di legna da ardere o pellet, e le pompe di calore 2,5 Mtep, mentre risultano ancora contenuti i contributi geotermici e solari. Nel settore trasporti il contributo più elevato è fornito invece dai biocarburanti.



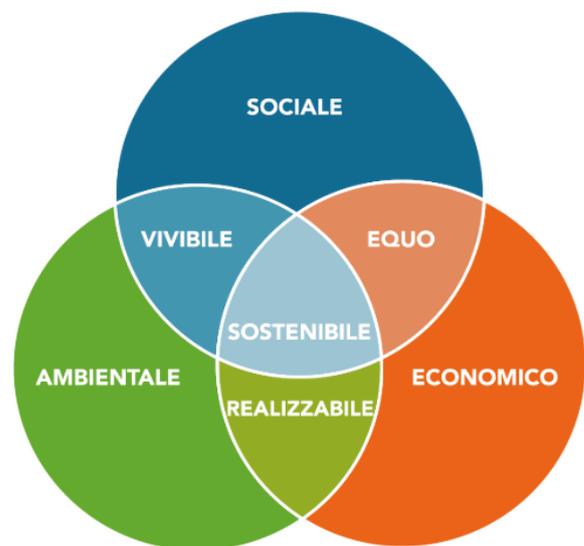
<sup>55</sup> Gestore dei servizi energetici GSE S.p.A. è una società per azioni italiana, interamente controllata dal Ministero dell'economia e delle finanze, alla quale sono attribuiti numerosi incarichi di natura pubblicitica nel settore energetico

<sup>56</sup> MTEP: milioni di tonnellate equivalenti di petrolio

## 2.5 La Sostenibilità nel settore edile

Nel vocabolario Treccani, il termine *Sostenibilità* viene definito come: la condizione di uno sviluppo, in ambito ambientale ed economico, in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri.<sup>57</sup> Il concetto di sostenibilità è stato introdotto nel corso della prima conferenza ONU sull'ambiente nel 1972, anche se soltanto nel 1987, con la pubblicazione del cosiddetto rapporto Brundtland<sup>58</sup>, venne definito con chiarezza l'obiettivo dello sviluppo sostenibile che, dopo la conferenza ONU su ambiente e sviluppo del 1992, è divenuto il nuovo paradigma dello sviluppo stesso. Il documento è incentrato sui rapporti tra ambiente e sviluppo e avanza proposte da mettere in atto da parte dei vari Governi e organizzazioni internazionali. Per la prima volta si affronta anche il legame che intercorre tra la tutela ambientale e lo sviluppo economico. Dopo aver esaminato lo stato del Pianeta, infatti, il rapporto promuove un nuovo modello di crescita che dovrebbe basarsi sullo sviluppo sostenibile, sulla protezione della natura e dell'ecosistema. Una successiva definizione di sviluppo sostenibile risale al 1991, ed è stata elaborata dal World Conservation Union (WCU), UN Environment Programme (UNEP) e World Wide Fund for Nature (WWF): “Un miglioramento della qualità della vita senza eccedere la capacità di carico degli ecosistemi di supporto dai quali essa dipende”. Sempre nel 1991 l'economista ambientale Herman Daly introduce il principio di "equilibrio" tra uomo ed ecosistema: “il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione”.<sup>59</sup>

Il termine “sviluppo sostenibile” trae origine dall'ecologia, dove la sostenibilità di un ecosistema è intesa come la sua capacità di rigenerare le biodiversità, in modo che un processo produttivo non sottragga le risorse naturali ad un ritmo superiore a quello della rigenerazione naturale. Il concetto di sostenibilità ha attraversato poi una profonda evoluzione che, partendo da una visione centrata principalmente sull'aspetto ecologico, è approdata verso un significato più globale, che tiene conto anche della dimensione economica e sociale. I tre aspetti sono stati considerati in un rapporto sinergico e impiegati per giungere a una definizione di progresso e di benessere che superasse le tradizionali misure della ricchezza e della *CRESCITA ECONOMICA* basate sul PIL. In



<sup>57</sup> <https://treccani.it/enciclopedia/sostenibilita/>

<sup>58</sup> Il concetto è stato introdotto dalla Commissione Brundtland (World Commission on Environment Development) nel Rapporto dal titolo “Our Common Future” redatto nel 1987 (Rapporto Brundtland, 1987)

<sup>59</sup> Tesi di Laurea Magistrale: “L’uso del Bio-char per calcestruzzi sostenibili e durevoli”, Isabella Cosentino, Politecnico di Torino

definitiva, la sostenibilità implica un benessere ambientale, sociale ed economico costante e preferibilmente crescente con la prospettiva di lasciare alle generazioni future una qualità della vita non inferiore a quella attuale.

La sostenibilità è un concetto dinamico, in quanto le relazioni tra sistema ecologico e sistema antropico sono influenzate da molti fattori esterni sia naturali che legati allo sviluppo tecnologico dell'umanità. Sotto il profilo operativo, l'assunzione del modello di sviluppo sostenibile implica l'utilizzo di un sistema di valutazione che determini il grado di sostenibilità di interventi, progetti, sistemi e settori economici. **Il Life Cycle Assessment (LCA)** o Analisi del ciclo di vita, è una metodologia analitica e sistematica utilizzata per valutare il potenziale impatto ambientale di un prodotto, di un processo, o di un'attività durante tutto il suo ciclo di vita, considerando sia le risorse immesse nel processo, sia gli inquinanti emessi come scarto o sottoprodotto.

Il concetto di sostenibilità oltre ad essere dinamico, è caricato di aspettative in tutti i settori della nostra vita, rischiando di perdere efficacia sui temi specifici e a livello concreto. In tal proposito, nel 2015, l'Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (UN, 2015), definiva i **17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile** o Sustainable Development Goals (SDGs) adottati da più di 150 leader mondiali. Per la prima volta in oltre venti anni di mediazione da parte dell'O.N.U., si concludeva un accordo vincolante e universale sul clima, accettato da tutti gli Stati. Ognuno dei 17 SDG si articola in diversi target ed obiettivi specifici da integrare nei programmi nazionali a breve e medio termine e da raggiungere entro il 2030. Con la sottoscrizione dell'Agenda, tutti i paesi, compresa l'Italia hanno accettato di partecipare ad un processo di monitoraggio di questi obiettivi gestito dalla Commissione Statistica delle Nazioni Unite, attraverso un sistema di indicatori specifici.



In questo contesto, dove l'edilizia appare il principale settore nel consumo di energia e risorse naturali, le organizzazioni governative stanno guidando una transizione ecologica del settore attraverso leggi, incentivi, certificazioni e valutazioni degli impatti. Gli edifici ad alta efficienza energetica, in grado di azzerare i propri consumi, si chiamano **NZEB** (Nearly Zero Energy Building) e dal 2021 sono il nuovo standard per edifici di nuova costruzione. Gli NZEB sono immobili capaci di provvedere autonomamente alla produzione del fabbisogno energetico dell'edificio, riducendo al minimo i consumi e l'impatto ambientale. Sono edifici sostenibili "a energia quasi zero", progettati per consumare il minimo quantitativo di energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda, ventilazione e illuminazione. Spesso il concetto di NZEB si associa al concetto di "*Passive House*", cioè un edificio che non necessita di un sistema impiantistico per mantenere il comfort abitativo interno. Sono infatti edifici che coprono la maggior parte del loro fabbisogno energetico ricorrendo a dispositivi passivi come importanti coibentazioni o pannelli solari per la stagione invernale, sistemi di ventilazione naturale e sistemi di schermature solari per la stagione estiva, senza dover ricorrere ad impianti convenzionali come caldaie, termosifoni o climatizzatori. Si tratta di uno standard studiato in coerenza con gli obiettivi di sviluppo sostenibile fissati dall'Onu e introdotti dalle direttive europee già nel 2010. Declinati poi dai singoli Paesi, per l'Italia a partire dal 2021, ogni edificio di nuova costruzione dovrà obbligatoriamente rispettare le specifiche di un NZEB.<sup>60</sup>

**Gli investimenti** nell'efficientamento energetico dell'edilizia hanno mostrato un aumento nel 2019 per la prima volta negli ultimi tre anni, con \$ 152 miliardi di dollari investiti nel 2019, cioè un aumento del 3% dal 2018. Tuttavia, questa rimane solo una piccola parte dei 5,8 miliardi di miliardi (triloni) di dollari spesi nel settore dell'edilizia e delle costruzioni. Infatti, nel settore dell'edilizia, per ogni dollaro speso per l'efficienza energetica, 37 dollari vengono spesi per approcci di costruzione convenzionali. Tuttavia, ci sono segnali positivi. Ad esempio, delle 1.005 società immobiliari, sviluppatori, società fiduciarie e fondi di investimenti che rappresentano oltre \$ 4,1 trilioni di beni in gestione secondo GRESB<sup>61</sup> nel 2019, il 90% di questi allinea i propri progetti con gli standard di classificazione dell'architettura sostenibile. In effetti, questi rappresentano una delle maggiori opportunità di investimento globale del prossimo decennio, stimato dall'International Finance Corporation (IFC) in \$ 24,7 trilioni entro il 2030.

A sostegno dei processi di efficientamento energetico e di costruzione sostenibile sono nate diverse certificazioni dell'opera edilizia, tra cui il sistema "LEED", nato in America, e il protocollo "ITACA" o "CASACLIMA" creati in Italia, (o altri come DGNB, BREEAM) i cui parametri stabiliscono precisi criteri di progettazione e realizzazione di edifici salubri, energeticamente efficienti e a impatto ambientale contenuto. La certificazione interviene nel mercato apportando incentivi, prestigio e visibilità agli operatori edili che operano in modo sostenibile, oltre ad essere diventata ormai un requisito fondamentale per la partecipazione a concorsi e bandi pubblici. In questo senso, **Il Life Cycle Assessment (LCA)** o Analisi del

---

<sup>60</sup> (<https://t2d.it/news/gli-edifici-nzeb-normative-caratteristiche-e-le-novita-del-2021/>)

<sup>61</sup> The Global ESG Benchmark for Real Assets

ciclo di vita, è una metodologia analitica e sistematica utilizzata per valutare il potenziale impatto ambientale di un prodotto, di un processo, o di un'attività durante tutto il suo ciclo di vita. Il LCA quantifica gli impatti ambientali di un prodotto o servizio, riportando i valori per ciascuna **categoria di impatto** in ogni **fase del ciclo di vita** del prodotto o servizio, entro i limiti di un "confine di sistema" o di un "sistema di prodotto" accuratamente definito.

<b>Categorie di impatto <i>input-related</i></b>	<b>Categorie di impatto o <i>output-related</i></b>
Risorse abiotiche	Cambiamento climatico
Risorse biotiche	Assottigliamento della fascia di ozono stratosferico
Uso del territorio	Ecotossicità
Consumo di acqua	Tossicità umana
	Formazione di foto-ossidanti
	Acidificazione
	Eutrofizzazione
	Radiazione
	Dispersione di calore
	Odore
	Rumore
	Condizioni di lavoro

A partire dagli anni 70 si diffusero i primi esempi di Life cycle thinking, concetto utilizzato soprattutto da grandi aziende americane e inglesi per la progettazione di imballaggi, con lo scopo di confrontare diversi materiali per medesime applicazioni o confrontare funzioni equivalenti con l'utilizzo di soluzioni e materiali differenti. Già allora c'era la consapevolezza di non poter paragonare in assoluto materiali diversi senza la loro applicazione ad una specifica funzione. Verso la fine degli anni 80 venne affermato il concetto di sviluppo sostenibile, mentre il termine LCA venne elaborato durante il congresso SETAC<sup>62</sup> del 1990, e consisteva in tre fasi da attuare successivamente e ciclicamente. Per comprendere questo strumento bisogna specificare che un'analisi LCA non descrive un prodotto, ma il sistema che lo genera. Infatti, si prende in considerazione il sistema industriale, definito come un insieme di procedure per la produzione di beni utili, che è separato dal sistema ambiente attraverso confini fisici e interagisce con esso mediante lo scambio di input e output. Gli input del sistema riguardano l'energia e le risorse utilizzate, mentre gli output riguardano i prodotti, scarti e inquinamento del sistema produttivo. Successivamente è necessario analizzare l'interazione tra azienda, consumatore e ambiente, cioè tutto il ciclo di vita, attraverso le fasi di produzione, distribuzione e utilizzazione.

La struttura moderna della LCA riportata dalla ISO 14040 è scomponibile in 4 fasi principali:

- Definizione degli scopi e degli obiettivi: si definiscono i confini del sistema e i fabbisogni.

---

<sup>62</sup> Society of Environmental Toxicology and Chemistry

- Analisi di inventario: lo studio e schematizzazione del ciclo di vita, si redige un inventario che rappresenta il modello riassuntivo dei flussi dell'energia e dei materiali.
- Analisi degli impatti: evidenzia l'entità delle alterazioni ambientali e la relativa pericolosità basandosi sui dati dell'inventario.
- Interpretazione e miglioramento: propone cambiamenti per ridurre l'impatto ambientale, che può condurre alla ripetizione di alcune fasi o alla modifica degli obiettivi iniziali e a ripetere quindi tutto il processo dalla prima fase.

L'approccio metodologico é di natura dinamica e iterativa, approfondendo l'analisi, i nuovi dati possono sostituire o aggiornare i precedenti e condurre a revisioni dei calcoli. Vengono attuati una serie di cicli di simulazione per migliorare l'efficienza complessiva del sistema produttivo.<sup>63</sup>

Lo strumento LCA può essere utilizzato in edilizia a diverse scale: di dettaglio costruttivo, di componente edilizio, di edificio, di quartiere e di città. il ciclo di vita di un prodotto edilizio viene esaminato per l'estrazione delle materie prime, l'impatto ambientale dei trasporti, la lavorazione in stabilimento, la messa in opera in cantiere, la manutenzione in fase d'uso, la demolizione e smaltimento o riciclo o riuso a fine vita. Di un edificio invece, si esaminano gli impatti ambientali connessi ai materiali costruttivi, ma anche gli impatti dovuti al suo funzionamento, i consumi di energia, acqua e gas. Il LCA può essere utile per definire le criticità e gli eventuali miglioramenti di un certo elemento oppure per confrontare soluzioni alternative. Questo strumento può essere utilizzato da diversi operatori come progettisti, imprese o amministrazioni pubbliche, e infine è applicabile alle varie fasi del processo edilizio: progetto, produzione, costruzione, manutenzione e dismissione o all'intero processo.

---

<sup>63</sup> Analisi del ciclo di vita LCA, Gian Luca Baldo, Massimo Marino, Stefano Rossi, Edizioni Ambiente

## 2.6 Materiali

Il settore dell'edilizia e delle infrastrutture, oltre al suo contributo nelle emissioni globali di gas a effetto serra (GHG), esercita una pressione significativa sulle risorse naturali e sul loro processo di trasformazione in materiali edili.<sup>64</sup> Si prevede che l'utilizzo globale di materiali raddoppierà entro il 2060 e i materiali utilizzati nel settore dell'edilizia rappresenteranno un terzo di questo aumento. Di conseguenza aumenteranno anche le emissioni di GHG legate all'estrazione, al trasporto, alla lavorazione e all'assemblaggio dei materiali. Si prevede che l'industria del cemento contribuirà al 12% delle emissioni globali di gas serra nel 2060. Tra il 40% e il 50% delle risorse estratte sono utilizzate per realizzare abitazioni, costruzioni e infrastrutture. Il consumo annuale di materiali da parte dell'industria edile ammonta a circa 43 gigatonnellate (Gt), circa 20 Gt di minerali, più di 4 Gt di cemento (Andrew 2018), aggregati, asfalto, mattoni, cartongesso, pietra e vetro. L'acciaio e altri metalli come l'alluminio e il rame rappresentano solo 0,6 Gt, ma il loro processo di estrazione è altamente impattante e il processo di produzione richiede grandi quantità di energia. Per la sabbia e gli inerti come pietrisco, scorie, cemento frantumato o ardesia, si estraggono 30 miliardi di tonnellate all'anno, cioè circa 4 tonnellate a persona, principalmente da fiumi e zone costiere. Infine, circa 0,54 Gt di prodotti in legno vengono realizzati ogni anno. Accanto a questi consumi vengono utilizzati grandi quantitativi di altri materiali con impatti ambientali sproporzionati rispetto ai quantitativi consumati, tra cui: amianto, plastica nei serramenti e altri profili, tubazioni, impianti e rivestimenti, isolamento termico ed elettrico, materiali compositi, tessuti avanzati, adesivi, pitture e vernici. Le perdite annuali di materiale nella costruzione e nella demolizione sono in aumento, si stima che quasi il 40% della massa estratta si traduca in materiali di scarto senza riutilizzo.

Nell'Unione europea, la quota degli attuali rifiuti da costruzione e demolizione rappresenta circa il 25-30% del totale ed è costituita da numerosi materiali, tra cui cemento, mattoni, gesso, piastrelle, ceramica, legno, vetro, metalli, plastica, solventi, amianto e terreno, molti dei quali possono essere riciclati. Ad esempio, in tutto il pianeta i metalli vengono recuperati con attenzione dai rifiuti di costruzione e demolizione per via del loro alto valore.

**L'economia circolare** è un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e



<sup>64</sup> 2020 Global Status report for buildings and construction, Global alliance fo Buildings and Costruction, UNEP

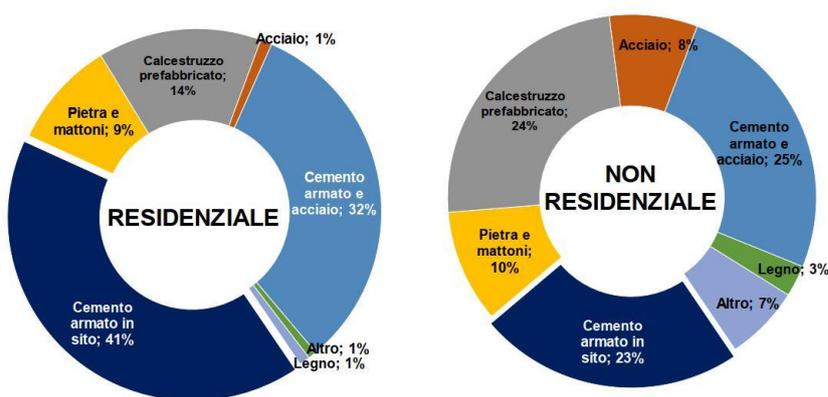
riciclo dei materiali e dei prodotti esistenti il più a lungo possibile, in modo da estendere il loro ciclo di vita e ridurre la quantità di rifiuti prodotti.<sup>65</sup> L'applicazione di questo concetto al settore delle costruzioni offre significative opportunità per ridurre l'impatto sul consumo di materiali e sulle emissioni di gas serra. Una ricerca per la Commissione Europea ha scoperto che per l'alluminio il risparmio di emissioni derivante dal riciclo può arrivare fino al 90-95% e per l'acciaio fino all'85-90%. Allo stesso modo, una ricerca per la US Environmental Protection Agency ha riportato che il riciclaggio di vetro e carta potrebbe ridurre le emissioni di 1/3 rispetto alla produzione primaria. Secondo l'International Resources Panep, le strategie di efficienza dei materiali potrebbero ridurre le emissioni dell'intero ciclo di vita degli edifici residenziali fino al 35-40%.

In questo contesto, la fase di progettazione può prevedere e facilitare una seconda vita non solo per i materiali ma anche per i componenti edilizi o per elementi strutturali. L'adozione di una **prefabbricazione spinta**, infatti, permette di facilitare sia la costruzione in cantiere sia lo smontaggio e il riutilizzo in contesti differenti combinando i componenti modulari a piacere. In genere la progettazione per il riuso va preferita alla progettazione per il riciclaggio, infatti un prodotto o elemento costruttivo può essere riportato alla sua stessa funzione o essere destinato ad una nuova, evitando così nuovi costi energetici per la trasformazione e il riciclo. Il riuso impone che componenti e materiali possano essere rimossi intatti e mantenere le proprie caratteristiche e qualità con minime modifiche. In tal senso il "Design for Deconstruction", ovvero la progettazione che previene la formazione di rifiuti tramite l'ideazione delle fasi di smontaggio dei componenti e delle opzioni tecniche per riuso e riciclo, va implementato nel processo di progettazione architettonica e ingegneristica.

Nel mese di ottobre 2018, l'Ance<sup>66</sup>, all'interno del consueto questionario dell'indagine rapida presso le imprese associate, ha sviluppato, in collaborazione con Federlegno-Arredo, una sezione specifica di domande volte ad approfondire, tra l'altro, quanto e in che modalità, il legno sia impiegato anche dalle imprese edili tradizionali nel mercato residenziale e non residenziale.

Con riferimento alla struttura portante, emerge, per il comparto abitativo, un utilizzo prevalente del cemento armato e dell'acciaio, che da soli rappresentano oltre il 70% del totale. Il legno, in particolare, incide per le imprese edili tradizionali per

**STRUTTURA PORTANTE DEGLI IMMOBILI NEL BIENNIO 2018-2019**  
Composizione %



Fonte: Ance, Indagine rapida, ottobre 2018

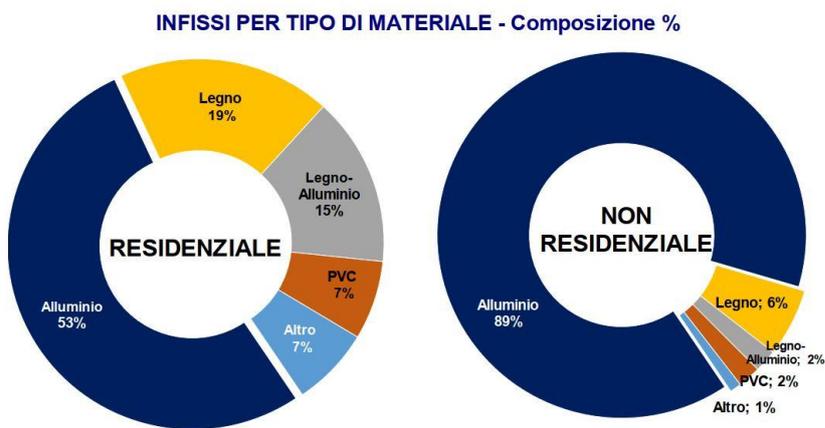
<sup>65</sup> <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

<sup>66</sup> Associazione nazionale costruttori edili

circa l'1%. Un utilizzo relativamente più elevato di questo materiale emerge nel settore non residenziale, nel quale la quota del legno sale al 3%.

Passando alle **finiture**, per gli edifici residenziali, si rileva che, il legno (24%), dopo la ceramica (61%), risulta essere il materiale più utilizzato. Considerando il materiale impiegato per la costruzione di infissi negli immobili analizzati, emerge per gli edifici abitativi, un

utilizzo intensivo dell'alluminio (53%), seguito dal legno (19%) e dal legno/alluminio (15%). Nei fabbricati non residenziali, invece, prevale nettamente l'alluminio (89%) come materiale utilizzato.<sup>67</sup>



Fonte: Ance, Indagine rapida, ottobre 2018

<sup>67</sup> Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni, Ance, gennaio 2019

## 2.7 Legno

Il concetto di sostenibilità si può declinare in tre dimensioni: ambientale, sociale ed economica. Il legno è conosciuto per soddisfare i requisiti ambientali data la sua velocità di crescita e la sua capacità di immagazzinare anidride carbonica. Tuttavia, questo materiale ha importanti qualità anche se analizzato nelle altre due dimensioni della sostenibilità.

- Il legno è una soluzione economicamente sostenibile per la costruzione di un edificio, rispetto ad altri materiali strutturali come acciaio o cemento. La sua flessibilità di utilizzo e la leggerezza ne facilitano le lavorazioni e la prefabbricazione, diminuendo i tempi, i costi e gli imprevisti di cantiere. Essendo un materiale vegetale, necessita però di un'adeguata progettazione per assecondare il suo comportamento e garantire la sua durabilità nel tempo.
- La sostenibilità economica influenza la dimensione sociale, poiché un costo inferiore permette al legno di essere utilizzato in grandi progetti di edilizia popolare o convenzionata, facilitando la creazione di abitazioni a prezzi più accessibili. Inoltre, la leggerezza e la compatibilità con prefabbricazione spinta, rendono questo materiale adatto alle emergenze di sfollamento date da alluvioni, sismi e altri eventi accidentali.
- Per quel che riguarda la dimensione ambientale, non bisogna dare per scontato la sostenibilità del legno, ma è necessario verificarne la provenienza e l'utilizzo in modo critico. Il legno deve essere preferibilmente di produzione locale, scelto favorendo le specie a rapido accrescimento come il pino, l'abete, il pioppo, l'ontano, la robinia, e proveniente da taglio selettivo e quindi da foreste controllate. La certificazione di

Environmental impact of stage 1 production of building materials- according to the type of building materials.

Group of building materials	Building A1(masonry, conventional)			Building A2(masonry, passive)		
	indicator result (Pt)	Share (%)	Ranking	Indicator result (Pt)	Share (%)	Ranking
Concrete	3.9	23.0	3	1.8	8.7	4
Natural stone materials	0.1	0.5	9	1.0	4.9	6
Building ceramics (excluding expanded clay aggregate from the ceiling system)	4.0	23.6	2	4.0	19.5	3
Mineral binding materials, as well as grouts and mortars	0.8	4.9	5	0.7	3.4	7
Wood/wood-based materials (excluding doors)	-0.1	-0.5	10	-0.1	-0.4	10
Metals (excluding ceiling system, gas boiler, window/door frames and cables)	1.3	7.8	4	1.5	7.2	5
Plastics (excluding window/door frames, cables and gas boiler)	0.8	4.7	6	4.4	21.4	2
Glass	0.2	0.9	9	0.5	2.3	8
Preservatives and paints	0.2	1.1	7	0.2	0.9	9
Other/multi-material (complete ceiling system, electrical cables, gas boiler, window and door frames)	5.7	34.0	1	6.6	32.2	1
<b>Total</b>	<b>16.8</b>	<b>100.0</b>		<b>20.4</b>	<b>100.0</b>	
Building module	Building B1(wooden, conventional)			Building B2(wooden, passive)		
	Indicator result (Pt)	Share (%)	Ranking	Indicator result (Pt)	Share (%)	Ranking
Concrete	0.7	11.7	5	1.1	8.3	4
Natural stone materials	0.1	1.2	9	-	-	-
Building ceramics (excluding expanded clay aggregate from the ceiling system)	0.9	13.9	4	0.9	6.8	5
Mineral binding materials, as well as grouts and mortars	1.0	15.9	3	0.5	3.7	7
Wood/wood-based materials (excluding doors and cellulose)	-0.5	-7.8	10	-0.2	-1.5	10
Metals (excluding ceiling system, gas boiler, window/door frames and cables)	1.5	24.0	2	1.2	9.1	3
Plastics (excluding window/door frames, cables and gas boiler)	0.4	5.9	6	0.2	1.8	8
Glass	0.2	2.5	7	5.9	45.6	1
Preservatives and paints	0.2	3.5	8	0.2	1.7	9
Other/multi-material (complete ceiling system, electrical cables, gas boiler, window and door frames)	1.8	29.2	1	2.6	20.1	2
Wood/wood-based materials (cellulose)	-	-	-	0.6	4.4	6
<b>Total</b>	<b>6.3</b>	<b>100.0</b>		<b>13.0</b>	<b>100.0</b>	

Source: SimaPro Analyst v.7.3.0/Impact 2002+.

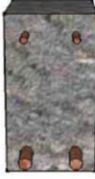
Gestione forestale sostenibile (FSC o PEFC) garantisce al consumatore finale che i prodotti come legnami, funghi, tartufi, castagne ecc. derivino da foreste gestite in maniera legale e sostenibile, in modo da contrastare fenomeni di taglio illegale e interventi irresponsabili, che possono portare all'impoverimento o alla distruzione delle risorse forestali. Sono da evitare i legnami esotici o di produzione extraeuropea, anche se certificati, poiché richiedono sprechi energetici per il trasporto e trattamenti antiparassitari fortemente tossici. Se necessario, i trattamenti per la protezione e la cura del legno possono essere realizzati con prodotti di derivazione vegetale o animale come l'olio di lino, le resine di conifera, le essenze di agrumi, la cera d'api e molti altri. Di seguito verrà indagata la capacità del legno di immagazzinare CO<sub>2</sub> in relazione agli impatti ambientali degli altri materiali da costruzione. Questa peculiarità di stoccaggio della CO<sub>2</sub> atmosferica risulta efficace dal momento che vengono applicati il riutilizzo e il riciclaggio per garantire un'ampia durabilità del materiale poiché la combustione, che fornisce calore ed energia, restituisce la CO<sub>2</sub> assorbita all'ambiente. Anche la degradazione naturale del legno restituisce lentamente la CO<sub>2</sub> assorbita all'ambiente. Si può dunque considerare la qualità di stoccaggio di anidride carbonica nel momento in cui viene preservata la durabilità del materiale, ritardando il più possibile la restituzione di Anidride Carbonica in Atmosfera .

Riguardo lo studio dell'intero ciclo di vita del complesso edilizio in tutte le sue parti, si riporta di seguito la ricerca "Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings" coordinato dal Wood Technology Institute di Poznan (Polonia) nel 2013. L'obiettivo di questo studio era l'analisi LCA per 4 unità immobiliari, equivalenti a livello funzionale e dimensionale, ma differenti riguardo ai materiali utilizzati. L'analisi ha considerato l'intero ciclo di vita degli edifici, dividendolo in 7 fasi: produzione della materia, prefabbricazione, trasporto, costruzione, utilizzo, demolizione, trasporto e smaltimento dei rifiuti. Analizzando i risultati, Il legno e i suoi prodotti derivati sono gli unici ad aver riscontrato un beneficio ambientale sia nella fase 1 che nella fase 7.

I vantaggi dell'utilizzo del legno nell'edilizia non derivano solo dal suo bilancio neutrale verso le emissioni di CO<sub>2</sub> e dalla possibilità di produrre energia tramite la combustione dopo il suo utilizzo architettonico. Il basso peso specifico di questa materia permette benefici nei vari processi di trasporto e lavorazione, sia verso il cantiere che verso il sito di smaltimento e lavorazione. In luogo di cantiere il legno permette di ridurre i tempi, tramite la prefabbricazione e l'assemblaggio a secco, riducendo inoltre le quantità di acqua ed energia elettrica consumati, e la quantità di rifiuti prodotta, sia per la fase di costruzione che per quella di demolizione. La ricerca ha evidenziato anche un punto debole, cioè la necessità di applicare con maggiore frequenza attività di manutenzione per l'applicazione di impregnanti e pitture.

## 2.7.1 Confronto tra materiali e prodotti strutturali

Il documento “NZ Wood Design Guide, Timber, carbon and environment, chapter 2.1 March 2020”, è una iniziativa del WPMA<sup>68</sup> volta a fornire informazioni indipendenti, senza fini commerciali, riguardo il legno e i suoi prodotti derivati per i professionisti e le imprese coinvolte nella progettazione e nella costruzione di edifici. All'interno del documento si osserva un interessante confronto tra i materiali strutturali più spesso utilizzati: acciaio, cemento armato e legno. Le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalla produzione di 1 Kg di materia sono presentate nella tabella seguente:

			
Construction Product	Structural steel (152x89x16UB)	30MPa in situ concrete including reinforcing steel (200mmx150mm)	Wood, glulam timber (360mmx90mm)
Embodied Carbon: kg CO <sub>2</sub> -eq /metre (with no stored Carbon)	45	15	10
Embodied Carbon: kg CO <sub>2</sub> -eq /metre (including stored Carbon)	45	15	-16

*Embodied Carbon (cradle-to-gate) of equivalent steel, concrete and timber beams, based on a typical upper floor beam of 6m span, using data from BRANZ CO<sub>2</sub>nstruct.*

Questo confronto basato sulle emissioni relative a 1 kg di materia non è molto utile quando si devono valutare differenti scelte architettoniche, e risulta necessario analizzare anche le caratteristiche di resistenza e peso specifico dei materiali. Per tenere conto di ciò, le emissioni di carbonio associate alla produzione di 1 metro lineare di trave con approssimativamente la stessa prestazione strutturale, sono riportate nella seguente figura, per i medesimi tre materiali. La prima riga mostra i dati legati alla produzione dell'elemento, mentre la seconda riga considera anche l'assorbimento di anidride carbonica durante la crescita della pianta.

			
Construction Material	Structural steel	30MPa in situ concrete including reinforcing steel	Wood, glulam timber
Embodied Carbon: kg CO <sub>2</sub> -eq /kg (with no stored Carbon)	2.85	0.21	0.61
Embodied Carbon: kg CO <sub>2</sub> -eq /kg (including stored Carbon)	2.85	0.21	-1

*Embodied Carbon (cradle-to-gate) of steel, concrete and timber by unit weight, data from BRANZ CO<sub>2</sub>nstruct.*

<sup>68</sup> Wood Processors and Manufacturers Association (WPMA)

I confronti più utili sono svolti tra interi edifici, equivalenti a livello funzionale e dimensionale, realizzati con telai strutturali differenti. Le analisi tengono conto dei diversi carichi a cui deve resistere la struttura, dati dai diversi pesi propri dei materiali e dei telai. Questi confronti nella norma includono anche l'impatto delle fondamenta, che rappresentano una percentuale significativa delle emissioni prodotte. Le 3 figure sottostanti mostrano esempi di questa tipologia di confronto.

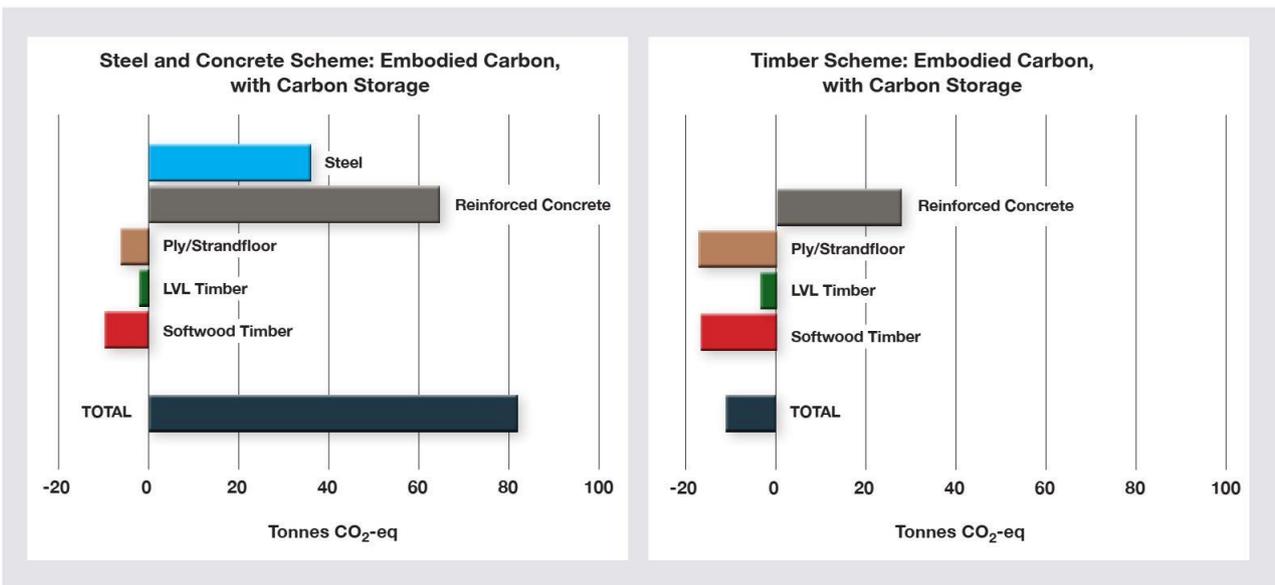
Nella Figura precedente vengono valutati due schemi strutturali alternativi per lo stesso edificio, sulla base delle informazioni di progettazione preliminare. Il primo



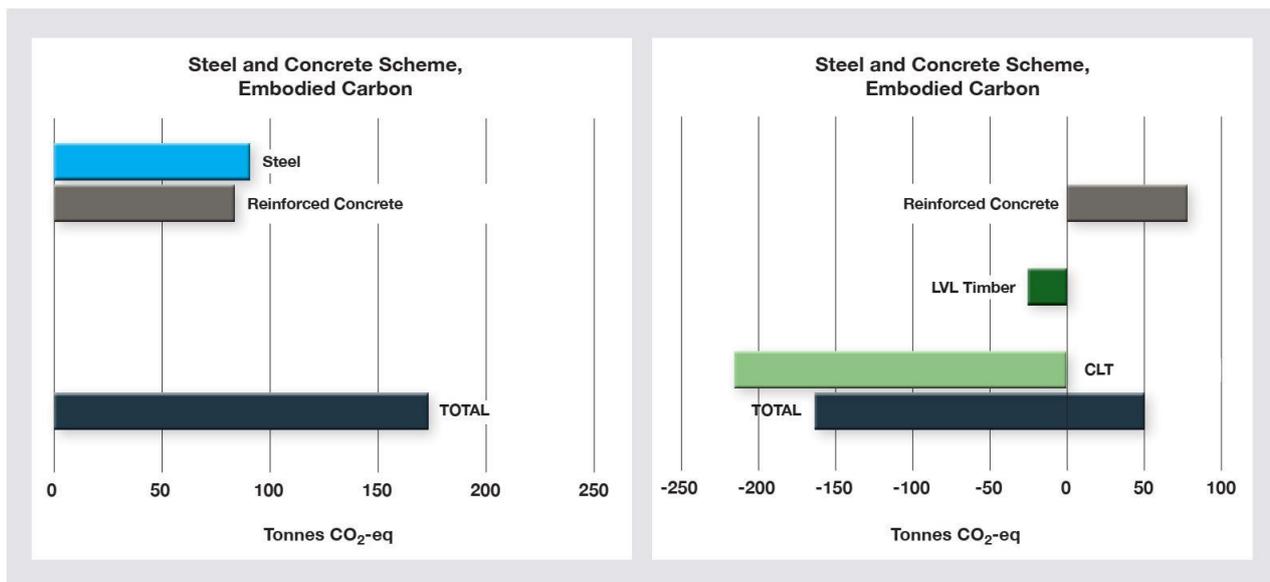
Structural frame	Steel eccentrically braced frame	Precast concrete frame and shear walls	Prefabricated Laminated Veneer Lumber (LVL)
Embodied Carbon: tonnes CO <sub>2</sub> -eq (including stored Carbon)	1615	1576	125
Ratio	12.9	12.6	1

Embodied Carbon (cradle-to-gate) of alternative structural designs for a 6 storey, 4200m<sup>2</sup> building (John et al, 2009).

è costituito da un telaio in acciaio e pavimenti in calcestruzzo, con utilizzi marginali di legno per il tetto e per alcune pareti. Il secondo schema consiste in una struttura a telaio leggero in legno. La CO<sub>2</sub> immagazzinata da ciascun elemento strutturale viene valutata moltiplicando la concentrazione di un Kg di materia per la quantità di materiale. Si noti che gli elementi in legno contribuiscono con valori negativi dati dall'assorbimento di CO<sub>2</sub>, compensando i valori positivi dagli altri elementi.



Embodied Carbon (cradle-to-gate) of two concept designs for a 2 storey, ~450m<sup>2</sup> building.



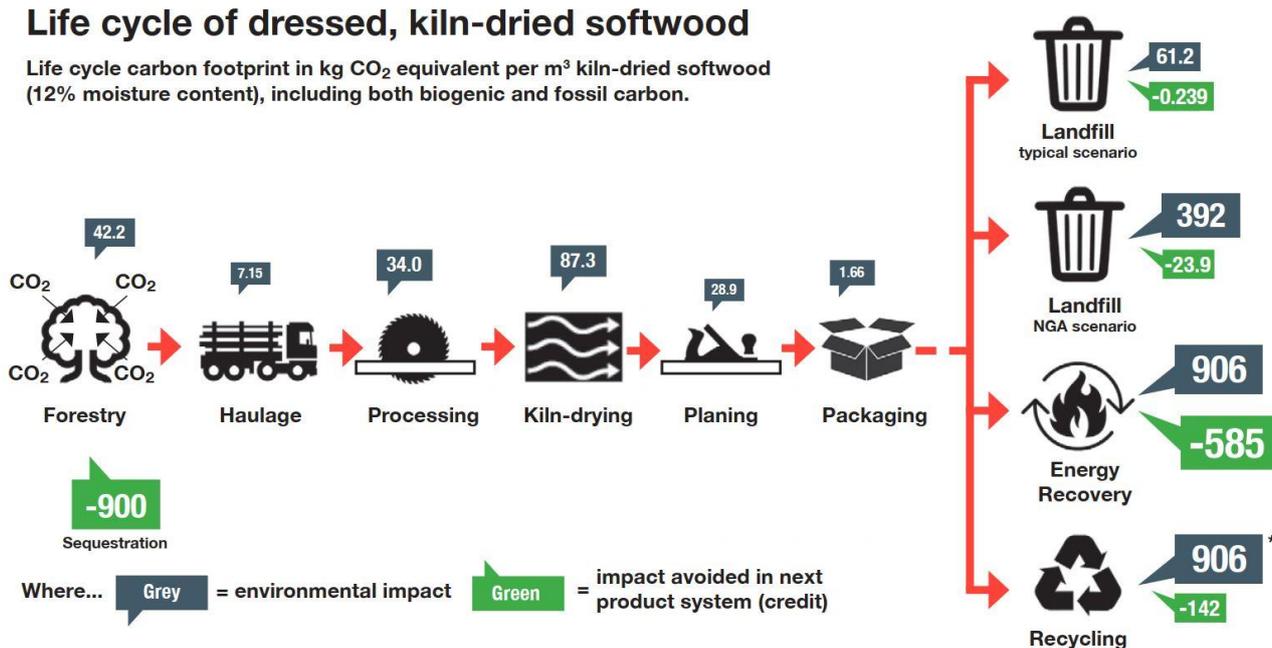
Embodied Carbon (cradle-to-gate) of two concept designs for a 3 storey, ~1400m<sup>2</sup> building.

Quest'ultima figura mostra la valutazione di due schemi strutturali alternativi per un edificio molto più grande: il primo è un altro concetto di telaio in acciaio e pavimento in cemento, ma qui il secondo schema è una struttura composta da pannelli di legno lamellare incrociato (CLT) per pavimenti e pareti, e travi in legno lamellare (LVL). La struttura più pesante in acciaio e cemento richiedeva fondamenta più profonde, il che ha aumentato l'impatto di questo schema.

Infine, il medesimo documento riporta lo schema sintetico del ciclo di vita dei prodotti a base legno, dalla crescita vegetale fino allo smaltimento, alla combustione o riciclaggio. Gli indicatori da osservare con attenzione sono le cifre all'interno dei riquadri grigi e verdi. Il colore grigio indica l'impatto ambientale in Kg di CO<sub>2</sub> per metro cubo di legname, mentre il colore verde indica l'impatto ambientale evitato sempre in Kg di CO<sub>2</sub> al m<sup>3</sup>.

### Life cycle of dressed, kiln-dried softwood

Life cycle carbon footprint in kg CO<sub>2</sub> equivalent per m<sup>3</sup> kiln-dried softwood (12% moisture content), including both biogenic and fossil carbon.



\* While carbon is not released directly through recycling, it is passed to another product system and is therefore counted as being released

### 3 Rapporto uomo natura, necessario e benefico

Una passeggiata nella natura o un pomeriggio passato in un parco portano sensazioni di benessere e rilassamento all'essere umano. Questa percezione è ormai un dato di fatto, ma l'intenzione è quella di superare questo luogo comune, e comprendere a fondo perché e in che modo la frequentazione di ambienti naturali porti dei benefici fisiologici e mentali. Come riporta "La terapia segreta degli alberi"<sup>69</sup>, circa l'80% della popolazione italiana vive in aree urbane e intermedie, solo il 20% in contesti rurali. Questo dato non è molto diverso nel resto d'Europa. Nel 2009, per la prima volta, considerando la popolazione mondiale, gli abitanti delle città hanno superato quelli delle campagne, sebbene gli ambienti naturali siano stati per tantissimo tempo il nostro luogo abitativo e la nostra casa. Basti pensare che il genere Homo è presente sulla terra da circa 2,3 milioni di anni, e da circa un milione di anni è in grado di utilizzare il fuoco. In particolare, la specie Homo Sapiens ha preso forma 200.000 anni fa, nel continente africano, da cui 100.000 anni fa ha colonizzato tutto il pianeta. Un cambio drastico è avvenuto con la scoperta dell'agricoltura circa 10.000 anni fa, e la conseguente nascita delle prime città con centinaia di abitanti circa 8.000 anni fa. Se consideriamo questi ultimi due cambiamenti come l'uscita definitiva dell'uomo dalle foreste e dalle savane, possiamo affermare che la nostra specie abbia trascorso il 99,5% del proprio periodo evolutivo in ambienti completamente naturali, rispetto ai 200.000 anni di vita della specie Homo Sapiens.

È quindi la nostra stessa evoluzione che ci porta ad apprezzare gli spazi verdi e che spiega la nostra preferenza comportamentale ed emotiva verso i paesaggi non antropizzati. Esiste un legame indissolubile tra uomo e natura che si comprende meglio con l'ausilio di ricerche effettuate sulla percezione di sfumature



di colori, sulle reazioni istintive alla vista e all'udito. L'occhio umano, in base a diverse ricerche biomediche, è in grado di distinguere tra 100.000 e 10.000.000 di sfumature di colori. Un dato certo però è che l'uomo può distinguere il maggior numero di sfumature per il colore verde, ovvero nell'ordine delle centinaia di tonalità rispetto ad alcune decine per gli altri colori. Questo fatto ha origine evolutiva; infatti, il verde è il colore più comune in natura, tipico del pigmento clorofilliano presente in tutte le specie vegetali che attuano la Fotosintesi. Nei millenni, sono sopravvissuti meglio gli individui in grado di distinguere il maggior numero

---

<sup>69</sup> La terapia segreta degli alberi, Marco Mencagli e Marco Nieri, SPERLING & KUPFER, edizione: 2017

di sfumature della vegetazione, in grado cioè di individuare la presenza di cibo o di predatori. Recenti studi dell'università di Santa Barbara in California, hanno dimostrato che normali abitanti di zone urbane, fanno registrare tempi di reazione più rapidi alla vista di un animale piuttosto che di un veicolo che compare all'improvviso. Studi simili riguardo il senso dell'udito, confermano differenza di reazione a suoni della natura e della vita moderna. Uno studio del 2010 pubblicato sul Journal of the acoustic Society of America, ha dimostrato che i suoni ai quali la nostra specie reagisce in modo più celere sono alcuni richiami di predatori come il Leone, il Leopardo o il Giaguaro anziché comuni suoni di allarmi artificiali. Appare chiara l'esistenza di un legame biologico con i nostri antenati, una "eredità genetica", un'impronta della natura sui nostri atteggiamenti istintivi creatasi nel corso di migliaia di anni. Ad oggi non possiamo sapere se questa impronta si modificherà, verrà sostituita o si cancellerà totalmente. Dobbiamo però constatare che siamo fatti per vivere in natura, e trascurare questo fattore porta a gravi conseguenze sulla nostra vita. Marco Mencagli e Marco Nieri spiegano che: "La nostra biologia non è preparata a una vita in ambienti densamente popolati, non siamo abbastanza adattati al fatto di essere troppo pigri, troppo nutriti, troppo comodi, troppo puliti. Nonostante i progressi della medicina nell'igiene, troppi individui soffrono di malattie un tempo sconosciute, spesso con disabilità croniche non infettive prodotte dal nostro stesso stile di vita. Per milioni di anni ci siamo mossi nelle foreste e nelle pianure, per migliaia di anni abbiamo camminato e coltivato la terra. Oggi il lavoro d'ufficio sta generando patologie e morbilità con una velocità mai vista prima. Siamo in pieno mismatch evolutivo, nel tempo la selezione naturale adatta il corpo alle condizioni dell'ambiente (matching), quando l'ambiente cambia il corpo deve adattarsi o avrà dei problemi, ma questo processo di adattamento evolutivo avviene molto lentamente."

Si esaminano di seguito due ricerche riportate in "La terapia segreta degli alberi". La prima è stata effettuata da un gruppo di ricercatori danesi guidati dalla professoressa Ulrika K. Stigsdotter, che nel 2010 ha pubblicato un particolare studio su 11 238 cittadini danesi. Questi dovevano compilare un questionario sul proprio stato di salute e partecipare ad un'intervista di persona. "Gli intervistati che vivevano a più di un chilometro di distanza da uno spazio verde, avevano in media il 42% in più di probabilità di sentirsi stressati rispetto a coloro che invece vivevano a meno di trecento metri. Inoltre, quelli del primo gruppo che non riportavano stati di stress sintomatici, tendevano comunque a visitare più spesso un ambiente naturale rispetto ai soggetti che potevano definirsi stressati" La seconda ricerca riguarda uno studio di un gruppo di ricercatori giapponesi coordinati dal dottor Qing Li. L'indagine condotta in tutte le prefetture del Giappone evidenzia una connessione, all'interno di una precisa area, tra maggiore copertura forestale e minore mortalità da cancro. "Tale correlazione è risultata significativa in particolare per la mortalità da cancro dell'utero, del seno e del polmone tra la popolazione femminile; da cancro della prostata, del fegato e del colon tra la popolazione maschile. Prendendo come esempio il dato della mortalità da cancro del polmone nella popolazione femminile tra la prefettura di Tokyo e quella di Hiroshima, che hanno rispettivamente il 36 e il 72% di copertura forestale del proprio territorio, è risultato un tasso di mortalità superiore del 13% nella prefettura con minore copertura forestale. La differenza si attesta quasi al 20% nella mortalità maschile per cancro della prostata."

### 3.1 L'ambiente naturale e lo stress

La ricerca svolta dall'European Observatory of Working life nel 2014, evidenzia che il 25% dei lavoratori europei afferma di soffrire di stress dovuto alla propria attività lavorativa; e una percentuale simile ritiene che l'attività lavorativa abbia un impatto negativo sulla propria salute. Senza considerare gli ulteriori apporti di stress dati da problemi economici, familiari e di salute. Un articolo di Federchimica del 10 maggio 2018 riporta che quasi 9 italiani su 10 soffrono di disturbi legati allo stress, secondo una ricerca sulla connessione tra gli stili di vita e lo stress, sostenuta da Assosalute. Gli effetti sono molteplici: stanchezza, irritabilità, ansia, mal di testa, digestione lenta, bruciori di stomaco, insonnia, tensioni muscolari, herpes, problemi cardiaci. Oltre a questi sintomi, a livello generale calano le difese immunitarie e ci si ammala con facilità. Disturbi spesso lievi capaci, però, di influenzare negativamente il nostro benessere psicofisico. Secondo l'indagine, i disturbi da stress sono parecchio diffusi: l'85% degli intervistati ha sofferto negli ultimi sei mesi di almeno un disturbo, mentre il 45% afferma di averne riscontrati almeno 3. Il mal di testa (46,2%) e la stanchezza (45,9%) risultano i disturbi più comuni, poi il mal di stomaco (26,9%), il dolore muscolare (25,5%), l'insonnia (24,9%) e l'ansia/agitazione (23,4%).<sup>70</sup> Risulta invece dimostrato che prendersi pause di riflessione in ambienti naturali consente di ampliare le nostre capacità cognitive anche in stati emozionali complessi, induce calma e serenità, facilita un migliore rilassamento, regolarizza il battito cardiaco e modula la pressione arteriosa. Stephen Kaplan, ricercatore dell'università del Michigan ha elaborato la teoria del ristoro dell'attenzione: Attention Restoration Theory. Secondo Kaplan gli esseri umani utilizzano due modi di messa a fuoco del proprio interesse. Il primo tipo di attenzione è involontario: l'individuo, in un determinato ambiente tiene focalizzate le informazioni da elaborare senza compiere particolari sforzi. L'attenzione involontaria interviene quando riceviamo stimoli interessanti, coinvolgenti e capaci di attivare e mantenere la nostra attenzione in modo quasi automatico. Ad esempio, l'attenzione involontaria si attiva quando rimaniamo affascinati dalla natura, quando la bellezza e la dimensione degli ambienti naturali ci attraggono senza sforzi intenzionali. In termini di costi energetici si può dire che sia un impegno mentale a costo zero o quasi. L'attenzione volontaria o diretta, invece, viene utilizzata quando l'individuo si impegna per qualcosa che richiede la nostra attenzione come una lettura difficile o una sessione lavorativa in un ambiente a presenza di altri stimoli o distrazioni che attraggono il nostro interesse. Questa tipologia di attenzione, come spiega "La terapia segreta degli alberi", comporta l'attivazione di un interesse focalizzato che impegna la mente su due fronti: il primo per rimanere mentalmente (e fisicamente) coinvolti dalle informazioni e le attività che



---

<sup>70</sup> <https://www.federchimica.it/webmagazine/dettaglio-news/2018/05/10/lo-stress>

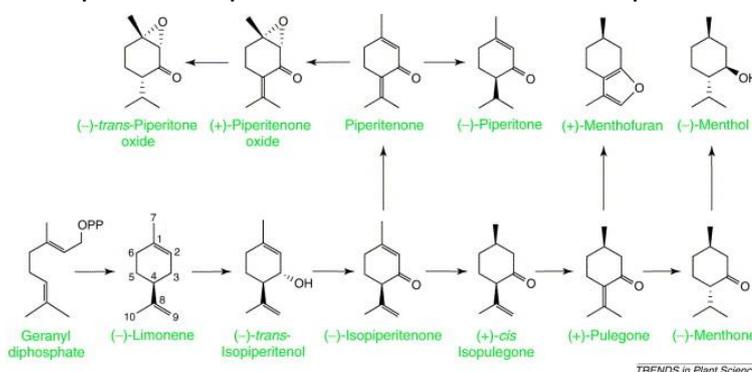
devono essere svolte; il secondo, più importante, per escludere tutti gli stimoli concorrenti, specialmente se offrono un'opportunità migliore di svago. Questo meccanismo richiede un grande sforzo mentale e un corrispettivo fabbisogno energetico. Così come il corpo, anche la mente necessita di recuperare dalle fatiche apportate dall'attenzione diretta. I sintomi del necessario recupero sono la perdita di efficienza, difficoltà di concentrazione e memorizzazione, stanchezza, impulsività e irritabilità, tutti sintomi riconducibili a uno stato di stress. Così come il cervello riposa durante la notte senza staccare completamente la spina, così riposa durante le giornate rivolgendo l'attenzione verso stimoli percepiti interessanti e gradevoli, cioè meno faticosi. In altre parole, l'efficienza della nostra attenzione diretta viene recuperata tramite un processo rigenerativo che attiviamo in ambienti che coinvolgono largamente l'attenzione involontaria. Numerosi studi dimostrano la maggiore efficacia rigenerante degli ambienti naturali o seminaturali rispetto a quelli urbani o comunque fortemente antropizzati, caratterizzati da fattori di inquinamento acustico, visivo e di sovraffollamento.

Dopo aver esaminato gli effetti sullo stress e sulla nostra mente, si esplora ora il campo dei benefici che gli ambienti naturali possono generare per il nostro corpo.

### 3.2 I monoterpeni

I Monoterpeni sono particelle composte da un insieme numeroso di molecole organiche della famiglia dei terpeni. La loro struttura principale è costituita di dieci atomi di carbonio, presentando quindi un'organizzazione semplice e un peso molecolare basso che permette

la loro volatilità, cioè la tendenza a passare allo stato gassoso in ordinarie temperature e pressioni. I monoterpeni vengono prodotti da molte piante, funghi, batteri e alcuni insetti, ma raramente una specie vegetale ne produce un solo tipo. Essi sono i tipici componenti delle resine e degli oli essenziali,



all'interno dei quali vi può essere una o più molecole predominanti, ma anche un componente contenuto in quantità minime può essere protagonista. Per esempio, si prenda l'aroma di limone: il Limonene costituisce il 70% dell'olio essenziale, ma il tipico profumo è dato dal Citrale presente nemmeno al 5% nell'olio. I monoterpeni sono i responsabili degli odori di foglie e fiori; tuttavia, lo stesso monoterpene può essere prodotto da diverse piante. Oggi si conoscono circa mille monoterpeni diversi, i quali sono prodotti solo da una cinquantina di famiglie botaniche, all'interno delle quali le più conosciute sono la Salvia, il Rosmarino, la Lavanda e gli Agrumi. L'attività biologica dei monoterpeni viene studiata attraverso l'azione degli oli essenziali, che già da migliaia di anni sono conosciuti per il loro uso medicinale, piuttosto che attraverso l'azione della singola molecola. Come riportano Mencagli e Nieri: "Gli oli essenziali hanno molte proprietà biologiche e una notevole affinità con la frazione lipidica della membrana cellulare umana; il loro assorbimento attraverso la pelle o le mucose è quindi abbastanza agevole. La via olfattiva è quella più diretta nel

raggiungere i recettori del sistema nervoso centrale per questo gli effetti dell'assunzione tramite inalazione sono così rapidi. L'azione fisiologica dei monoterpeni si esprime infatti anche a livello cerebrale come stimolanti oppure sedativi, ansiolitici e antidepressivi, con effetti positivi sia sulla memoria sia sui processi cognitivi, nonché sull'umore." Altri effetti sulla fisiologia umana sono:

- la stimolazione delle ghiandole a secrezione mucosa nelle vie respiratorie,
- la stimolazione delle ghiandole secrete di succhi gastrici,
- l'azione riscaldante a livello cutaneo tipica della Canfora delle dell' Eucaliptolo,
- l'azione antisettica tipica del Timolo,
- l'azione antispastica tipica del Mentolo e analgesica,
- l'azione protettiva nei confronti della carcinogenesi tipica del Cumino nero e del Cumino comune o del Papavero da oppio o del Basilico sacro
- l'azione stimolante sul sistema immunitario

Sebbene conosciamo gli oli essenziali per il loro effetto sull'uomo, non è così chiaro il ruolo che svolgono nella vita delle piante. Si deve immaginare che essi siano però fondamentali, dal momento che la loro diffusione costituisce per la pianta una perdita di carbonio organico derivante dalla fotosintesi. Sembra che le piante producano questi elementi per proteggersi da stress ambientali, per difendersi da

potenziali parassiti e per attrarre impollinatori. Addirittura, alcune piante emettono monoterpeni per attrarre i predatori tipici degli insetti da cui necessitano di difendersi. Alcune piante come le conifere sono in grado di immagazzinare questi prodotti in dotti resiniferi o in vescicole adatte, mentre altre piante come le latifoglie liberano i monoterpeni nell'atmosfera non appena vengono prodotti. La



produzione cambia da pianta a pianta e anche all'interno della stessa; infatti, le foglie meglio esposte alla luce del sole producono più monoterpeni. Inoltre, la produzione, legata alla fotosintesi, è maggiore nelle stagioni calde, e durante le ore centrali del giorno rispetto a quelle notturne.

Come e quando sono stati però scoperti gli effetti benefici di queste macromolecole volatili? Per rispondere al quesito si devono citare 3 ricerche che provengono dal Giappone, nazione che è ricoperta per i 2/3 della sua superficie di boschi, e a partire dal 1982 ha promosso a livello nazionale lo *Shinrin-yoku*, interpretato in occidente come *Forest bathing*, o *Bagno nella foresta*. Le prime due ricerche nipponiche si orientarono verso lo studio dell'effetto antistress dello Shinrin-yoku, con importanti risultati sulla riduzione del cortisolo salivare e nel dosaggio di emoglobina nel sangue, due ormoni indicativi del livello di stress. Dalla seconda ricerca i risultati diedero evidenza di miglioramento della pressione arteriosa, numero e regolarità delle pulsazioni cardiache e concentrazioni di cortisolo e immunoglobulina A nella saliva. Questi dati furono messi a confronto con analoghe attività di passeggio ma in contesti cittadini, che non fornirono risultati positivi. La terza ricerca

citata, che indagò l'effetto sul sistema immunitario, va però divisa in una parte di esperimenti di laboratorio e in una parte di esperimenti nella foresta, sempre condotti dal dottor Qing Li, medico del dipartimento di igiene e salute pubblica della Nippon Medical School di Tokyo. Le analisi di laboratorio del 2006 valutarono l'azione degli oli essenziali di due conifere su cellule del sistema immunitario costituite da una linea di linfociti natural Killer (NK-92MI), che intervengono nel controllo dei virus nel nostro organismo. I due elementi vennero tenuti a contatto in precise condizioni ambientali, rilevando dopo 120 ore un forte aumento dell'attività metabolica delle colture di linfociti NK e una loro intensa attività di moltiplicazione, segno di uno stimolo positivo fornito dall'olio essenziale sulla funzione immunitaria in assenza di regolazione da parte del cervello. A partire dal 2005 vennero effettuati gli esperimenti nelle foreste di tre prefetture giapponesi, coinvolgendo gruppi di persone tra i 25 e i 55 anni in buone condizioni di salute, i quali dovevano attenersi a un protocollo di visita di aree forestali per tre giorni e due notti. In tre giorni venivano effettuate 4 passeggiate di almeno 2 ore nel bosco, con libertà di sosta e pausa, con un minimo di 2,5 km di percorrenza. Lo stesso programma era predisposto a un gruppo di controllo, ma per visita turistica nella città di Nagoya. Ogni partecipante effettuava prelievi prima, durante e post protocollo, anche una settimana e un mese dopo l'esperienza nella foresta. "I risultati delle analisi evidenziarono un significativo aumento, tra 40% e 50%, del numero e dell'attività dei linfociti NK già dopo il secondo giorno di visita, con un sensibile incremento delle quantità di proteine anticancro all'interno delle cellule dei linfociti del sangue periferico. Inoltre, i livelli di adrenalina e noradrenalina nelle urine risultavano diminuiti già dopo il primo giorno di visita. A distanza di 7 giorni dalla visita nella foresta l'attività e il numero dei linfociti NK si mantenevano ancora alti e solo dopo 30 giorni le analisi del sangue indicavano una lieve flessione nei valori massimi riscontrati. In pratica il sistema immunitario riceveva una spinta i cui effetti potevano protrarsi per oltre un mese. Nel gruppo di controllo, costituito da soggetti impegnati nella visita turistica, non venivano invece rilevate variazioni significative nel numero e nell'attività dei linfociti." I risultati di questi esperimenti portarono ad affermare che la pratica dello Shinrin-yoku incrementa l'attività dei linfociti e del relativo sistema immunitario, e aumenta il contenuto di proteine anticancro prevenendo la carcinogenesi e lo sviluppo dei tumori. Gli studi di Qing Li vennero sviluppati in tutto il mondo, tanto che nel 2015 sul database di ricerca PubMed risultavano già oltre 100 studi sull'impatto del *Forest bathing* sulla salute.

Un gruppo di bioclimatologi che studia le interazioni tra i composti organici volatili, tra cui i monoterpeni, e i gas responsabili dell'effetto serra, hanno cercato di identificare le specie vegetali che emettono la maggior quantità di particelle volatili. Nel bacino del mediterraneo i risultati delle loro ricerche classificano il Leccio, la Sughera, la Quercia spinosa e il Faggio come specie arboree ad alto potenziale emissivo. Con un potenziale minore si evidenziano invece: Castagno, Pino domestico, Pino d'Aleppo, Pino silvestre, Abete rosso e bianco, Betulla, Pioppo tremulo ed Eucalipto. Bisogna aggiungere che la produzione di monoterpeni dipende anche dalle dimensioni e dalle forme degli alberi, dalla densità e altezza della chioma, dal tipo di esposizione e dall'andamento termico. Tuttavia, una zona forestale che presenta una delle specie elencate in precedenza, con alberi adulti a grandi chiome con apparato fogliare distribuito ed esposto al sole per almeno metà giornata, possiamo considerarla adatta per apportare benefici alla nostra salute.

### 3.3 Gli ioni negativi

Per “*ionizzazione dell’aria*” si intende la qualità e la quantità delle particelle cariche elettricamente presenti nell’aria. A livello del terreno, gran parte degli ioni viene generata da fenomeni di radioattività naturale come il decadimento del radio a gas radon. In prossimità degli oceani e in alta montagna intervengono come agenti ionizzanti la radiazione cosmica e l’irraggiamento ultravioletto del sole. A questi si aggiungono fenomeni come: temporali e tempeste, fulmini, spostamento di grandi masse d’aria, turbolenze, eruzioni, cascate e corpi d’acqua in movimento, e reazioni chimiche nei processi fotosintetici. Questi fenomeni hanno in comune un’ingente quantità di energia che spinge le molecole di aria a emettere un elettrone, il quale viene subito attratto da un’altra molecola formando uno ione negativo, mentre la molecola originaria diventa uno ione positivo. <<Poiché la superficie terrestre è in prevalenza dotata di carica negativa, essa tende a respingere i piccoli ioni negativi dell’aria, che così vengono allontanati rapidamente dal livello del suolo . Questo avviene in spazi sufficientemente aperti e in mancanza di una significativa copertura arborea del terreno. Viceversa, in ambienti naturali caratterizzati da una vegetazione molto sviluppata, in particolare di alberi e arbusti, è stato osservato che prevalgono gli ioni negativi su quelli positivi. Non solo: anche la quantità complessiva di ioni è superiore nell’aria di grandi complessi vegetali rispetto a quella delle zone antropizzate o comunque prive o quasi di vegetazione.>> Negli ambienti urbani le particelle inquinanti attirano gli ioni piccoli formando una miscela di nuclei di condensazione, che si stratificano a comporre quello che si conosce come smog. Negli ambienti interni i macchinari elettrici ed elettronici catturano gli ioni, in particolare quelli negativi. Così come nei sistemi di condizionamento vi è attrazione di ioni sui filtri e sui motori, così all’interno delle automobili vi è attrazione di ioni su dispositivi elettronici e superfici sintetiche. “In generale sono gli ioni negativi a risultare maggiormente deficitari negli ambienti urbani, perché più facilmente allontanati o sottratti dall’aria rispetto a quelli positivi.” Nieri e Mencagli hanno raccolto dati sulla concentrazione degli ioni negativi in determinati ambienti, da diverse fonti bibliografiche. Come si osserva nella tabella, i valori massimi di ioni negativi si ottengono presso cascate di acqua, mentre in zone forestali e montuose la concentrazione risulta più di 10 volte maggiore rispetto agli ambienti interni di edifici e veicoli.

<b>Ambiente</b>	Presso cascate di acqua	di Foresta temperata	Montagna, con aria secca	Spazio rurale aperto	Interno ufficio	Interno di un veicolo acceso
<b>Ioni (-) per cm<sup>3</sup></b>	9000-18000	1000-2500	1500-2000	500-1500	50-150	20-50
<b>Ioni (+) per cm<sup>3</sup></b>	1000-2000	800-2000	2000-2500	700-1800	100-200	80-150

Negli ultimi secoli sono avvenuti cambiamenti tali per cui attualmente gli ambienti urbani e indoor non si avvicinano lontanamente ai livelli di ionizzazione dell’aria caratteristici degli ambienti naturali. Quali sono allora le conseguenze e gli effetti sulla salute degli esseri

umani? Già negli anni 80 del secolo scorso fu rilevato un miglioramento dello stato asmatico, con conseguente riduzione dei farmaci, per individui esposti ad ambienti ad intensa ionizzazione negativa. Altri studi si sono occupati di stress, disturbi dell'umore e affaticamento fisico e mentale, evidenziando che una presenza di ioni positivi nell'aria porta all'accentuazione di questi disturbi. Viceversa, ambienti a prevalenza di ioni negativi, si dimostrarono incisivi nell'attenuare stati di stress e i relativi malesseri psicofisici, inducendo rilassamento e minore irritabilità. Nel 2013 una pubblicazione negli Stati Uniti riportava le analisi su 5 studi clinici, tutti in grado di confermare una connessione tra elevata ionizzazione negativa e il miglioramento di stati depressivi, affermando quindi un'azione antidepressiva. Ulteriori studi effettuati in Giappone e in Romania dimostrarono una connessione con un più rapido recupero da sforzi fisici pesanti e anche con una normalizzazione della pressione arteriosa. Infine, altri studi dimostrarono l'azione di miglioramento delle performance cognitive mnemoniche e un'attenuazione dei disturbi del sonno. Al contrario, la ionizzazione positiva non fa altro che accentuare la sintomatologia in soggetti che soffrono di stress cronico, mentre non esiste una soglia di tossicità per l'assorbimento di ioni negativi, che anche in alte concentrazioni non hanno fatto registrare disfunzioni o sintomi di malessere tra i pazienti delle sperimentazioni cliniche.

A conferma di quanto riportato, si evidenzia che già dagli settanta sono in commercio gli ionizzatori dell'aria per ambienti interni. Anche se gli autori pongono in allarme questi tipi di acquisti riguardo alle loro emissioni di ozono per rimuovere i cattivi odori e ai filtri per l'aria che rischiano di assorbire gran parte degli ioni negativi. Sempre nel libro "La terapia segreta degli alberi", gli autori propongono soluzioni per gli ambienti interni come la ventilazione naturale degli ambienti, l'inserimento di piante e lo svolgimento di una doccia giornaliera per sfruttare parzialmente la ionizzazione dovuta alla frantumazione delle particelle acquose, definito *Effetto Leonard* nell'ambito fisico. A tal proposito si



evidenzia che dove vi sono masse di acqua in movimento c'è sempre ionizzazione negativa per l'effetto prima citato: "Maggiore è l'energia cinetica con cui una massa d'acqua si infrange su un corpo solido o si disperde nell'aria, più cospicua ed efficace sarà la produzione di ioni." Gli ioni negativi restano in sospensione nell'aria mentre quelli positivi ricadono al suolo o sulla stessa massa liquida. Spettacolari cascate di fiumi o torrenti, così come le onde del mare che si infrangono sulla scogliera, sono ambienti caratterizzati da migliaia di piccoli ioni negativi per centimetro cubo e un'elevata qualità terapeutica.

Con approssimazione si può dire che molti ambienti boschivi idonei al *Forest bathing*, abbiano anche un sufficiente livello di ionizzazione negativa prevalente rispetto a quella positiva. In particolare, vi sarà maggiore concentrazione nelle zone di montagna e in zone rocciose. Cascate, litorali marini, grandi corpi d'acqua in movimento, zone termali, foreste, boschi e luoghi di montagna, sono quindi attivi sul nostro corpo e sulla nostra salute attraverso il contatto con gli ioni negativi.

### 3.4 Bioenergetic landscape o elettromagnetismo

“L' elettromagnetismo è una forma di energia che sostiene tutti i processi vitali e permette sia a noi esseri umani sia alle piante di dialogare istantaneamente con il mondo che ci circonda all'interno del grande involucro vitale della biosfera.” Così ci si introduce a presentare l'ultimo argomento, strumentale a questo elaborato, che si incontra sempre nell'opera di Nieri e Mencagli.

La biosfera è un luogo in cui sussistono continue reazioni e interazioni energetiche. In questo contesto, gli esseri viventi hanno sviluppato sensibilità incredibili verso le onde elettromagnetiche. Per esempio, squali e razze sono in grado di percepire e rispondere a intensità ultradeboli di campo elettrico per localizzare cibo a grandi distanze. Oppure le cellule degli esseri viventi emettono e ricevono segnali come radioonde, microonde, frequenze luminose visibili e non e infine infrasuoni, per comunicare le necessarie informazioni vitali. Nel 1960 Walter Kunnen fondò il primo centro specializzato sulla bioenergetica e sugli effetti della biosfera sugli esseri viventi. Egli arrivò a verificare che le cellule con stessa funzione tipo quelle del fegato, risuonano su precise frequenze elettromagnetiche permettendo agli organi di raccogliere l'energia che alimenta la loro esistenza. Secondo la sua esperienza, un'onda elettromagnetica è in realtà composta da una coppia di spirali intrecciate tra loro, di cui una ruota verso destra con polarità positiva, mentre l'altra ruota verso sinistra con polarità negativa. Esistono le onde portanti, che attraversano lo spazio in modo rettilineo e fungono da mezzi di trasporto per le onde portate, che invece sono campi elettromagnetici con frequenze che risuonano e interagiscono con gli organi umani. Queste ultime si presentano con le spirali positiva e negativa a diversa intensità, determinando una diversa informazione, benefica o nociva, sul funzionamento delle cellule. Walter Kunnen, tramite numerose misurazioni, giunse a descrivere la cellula come una struttura che presenta sulla superficie della membrana una carica negativa, mentre all'interno presenta una predominanza di carica positiva. La cellula per svolgere i suoi processi si nutre attirando a sé le sostanze con carica opposta a quella della membrana esterna, cioè sostanze con polarità positiva. Se la cellula viene però colpita da un campo elettromagnetico con cui entra in risonanza e che presenza intensità maggiore sulla polarità negativa, per un fenomeno di repulsione magnetica la membrana cellulare inverte la propria carica esterna, modificando la permeabilità e attrazione verso sostanze nocive e non utili, indebolendosi e ammalandosi. Al contrario, campi a intensità maggiore sulla polarità positiva hanno effetto riequilibrante o anche terapeutico, rafforzando il corretto funzionamento della cellula. Kunnen e i suoi ricercatori utilizzarono un particolare strumento: l'Antenna Lecher, in grado di eseguire misurazioni precise sull'intensità dei campi elettromagnetici in entrambe le due polarità, che è la variabile che definisce la qualità biologica dei segnali che arrivano alla cellula. Le esperienze sul campo hanno dimostrato che un apporto benefico o terapeutico alla cellula dipende dal rapporto tra le intensità delle polarità, con una predominanza della componente destrorsa (positiva).

Le scoperte di Walter Kunnen hanno avviato processi di ricerca che si sono convogliati nel *Bioenergetic Landscape*, una tecnica che studia e utilizza le proprietà energetiche degli alberi e delle piante col fine di creare spazi verdi favorevoli al nostro benessere. Ogni pianta, infatti, emette segnali elettromagnetici a specifiche frequenze che sono proprio in risonanza con le frequenze dei nostri organi. Si ipotizza quindi che le piante siano composti di cellule

e sistemi biologici strutturati energeticamente in modo simile a quelli umani, con funzioni simili. Si riporta come esempio in tal senso, l'esperienza di ricerca svolta da Stefano Mancuso, direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale di Firenze, che ha studiato la sensibilità dell'apparato radicale, riscontrando una somiglianza funzionale con le cellule del nostro sistema nervoso. La punta delle radici, l'apice radicale, può sentire e registrare oltre 15 caratteristiche ambientali diverse come l'umidità, la luce, la temperatura, la resistenza del terreno, la gravità, il tipo di minerali che la circonda. Inoltre, sempre nell'apice radicale, si svolge una complessa attività elettrica straordinariamente simile all'attività dei neuroni umani. In tal senso, le piante emettono segnali debolissimi, ma fortemente risonanti per il nostro organismo. Esistono tante tipologie di piante, più o meno benefiche, per un organo piuttosto che per un altro o in modo maggiore per alcuni sistemi o apparati rispetto ad altri. Altre piante possono portare addirittura effetti disturbanti a livello bioenergetico con segnali levogiri (maggiore polarità negativa), e all'interno dello stesso genere possiamo trovare sia specie benefiche come specie disturbanti. Le misurazioni effettuate hanno permesso di identificare le piante europee benefiche come: abete, acero, agrifoglio, alloro, betulla, bosso, camelia, carpino, castagno, cedro, ciliegio, corbezzolo, corniolo, faggio, frassino, ginko, ippocastano, leccio, magnolia, melo, melograno, mirto, olivo, olmo, palma, pino, platano, quercia, rosmarino, salice, sambuco e tiglio. Mentre quelle disturbanti sono: cipresso, lagerstroemia, lauroceraso, noce, oleandro, tasso. In generale le piante da frutto sono benefiche, ad eccezione del noce.

Rimane da capire in che modo e a quali distanze i campi emessi dall'albero abbiano effetti sul nostro organismo; infatti, i benefici sopracitati si manifestano per brevissime distanze o a grandi aree bioenergetiche. Per brevissime distanze, che la debolissima intensità dei campi bioenergetici degli alberi riesce a coprire, si intendono 30 o 40 centimetri, e in particolare nelle circostanze di una relazione che includa il contatto come il gesto di abbracciare il tronco della pianta. Entrare in contatto fisico con un albero o una pianta è il modo più semplice per provocare istantaneamente in essa una reazione bioenergetica misurabile nel nostro organismo.

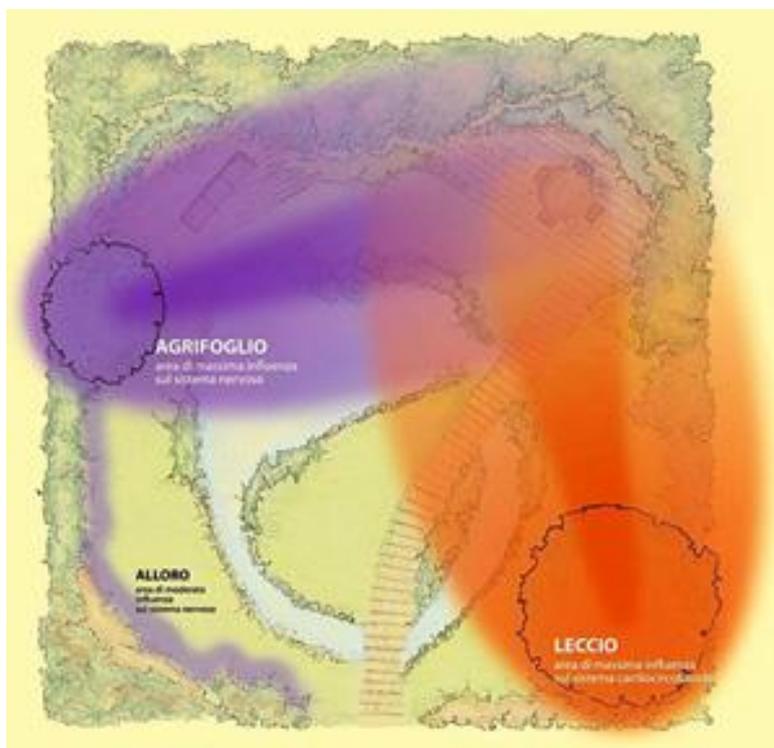
Come riportano Nieri e Mencagli, " è veramente affascinante poter misurare la reazione immediata dell'albero a questo contatto, gli alberi amano il contatto con l'uomo, di solito reagiscono molto favorevolmente a un tocco consapevole ed empatico e talvolta manifestano addirittura preferenze di sesso. La cosa più emozionante, tuttavia, è sperimentare quello che accade quando l'albero viene abbracciato da un bambino, la pianta reagisce con una forza maestosa più che negli adulti,



espandendo nello spazio segnali di grande positività, ovvero destro giri, sulle frequenze del suo sistema immunitario e nervoso.”

Oltre agli effetti stimolati dal contatto con la pianta, attraverso l'analisi elettromagnetica di ambienti naturali si è osservato che in alcuni luoghi gli alberi possono alterare la qualità bioenergetica dell'ambiente circostante, e interagire con animali e persone anche a 10 metri di distanza. Negli anni 60, Walter Kunnen e altri fisici come Schneider e Schweitzer, tramite l'antenna Lecher scoprirono l'esistenza in tutti gli ambienti di due onde portanti fondamentali: le grandi reti elettromagnetiche ortogonale e diagonale che distribuiscono informazioni ed energia vitali per uomini, animali e piante. Probabilmente esse sono generate dall'interazione tra la rotazione terrestre e i campi elettromagnetici originati dal cosmo e dal centro della terra. Si devono immaginare come due grandi reti che avvolgono il pianeta,

ognuna con propria frequenza caratteristica, sovrapposte e ruotate tra loro di 45°. Ogni linea della griglia rappresenta un picco di energia, che decresce allontanandosi da ciascun picco per poi risalire a quello successivo. La grande rete ortogonale è formata dai vettori da ovest verso est distanziati di 24 metri, e quelli da nord verso sud, con un picco ogni 30 metri. La grande rete diagonale invece, inclinata di 45° rispetto alla precedente, composta da vettori che provengono da nordovest e da sudovest, formando quadrati di 36 metri di lato. Tramite l'antenna Lecher è stato osservato che quando un



picco dei tre generatori attraversa il tronco di un albero, la pianta riesce a modificare le onde portate dal vettore, informandole con le sue proprietà energetiche. Questo effetto è misurabile in un vasto spazio detto “*area bioenergetica*”. Essa ha uno sviluppo geometrico tridimensionale che si estende nel verso di avanzamento del campo generatore in forma ellittica. Parte dal centro del tronco e si allunga verso sud-est per 20-30 metri con larghezza di 15-20 metri. Al fine di progettare ambienti benefici per gli esseri umani, è importante che si soddisfino 3 condizioni:

- Presenza di vettori elettromagnetici o onde portanti
- Corretta collocazione delle piante rispetto ai vettori
- Corretta scelta delle specie da utilizzare

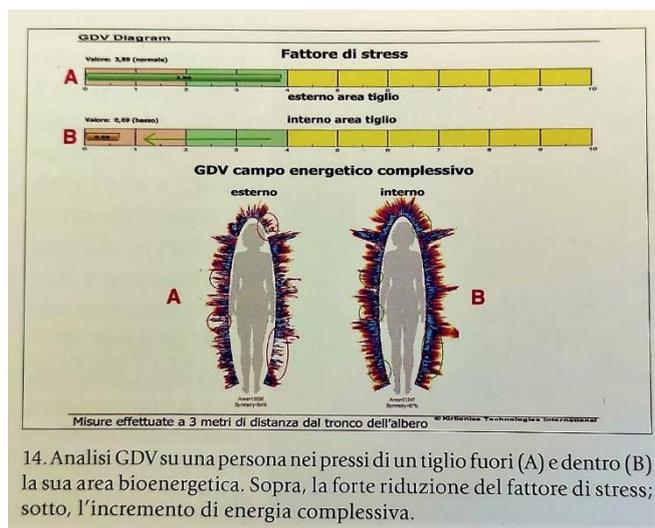
Se invece si cercasse uno spazio verde favorevole a livello energetico, basterebbe possedere e saper usare un'antenna Lecher. In alternativa se ci si vuole fermare a riposare o a svolgere attività nei pressi di alberi, occorre posizionarsi a sud est rispetto al tronco, a

una distanza non superiore a 5-8 metri, in modo che qualunque picco energetico attraversi la pianta, ci troveremo comunque all'interno della sua area benefica.

Esistono poi alcuni alberi che sono cresciuti in luoghi particolarmente favorevoli, rendendoli più resistenti alle avversità e agli attacchi dell'uomo, tanto da permettergli di vivere per centinaia di anni. Parte di questo merito è dovuto alle condizioni elettromagnetiche, che oggi ci regalano aree bioenergetiche uniche. Tra i tantissimi alberi secolari presenti nel mondo ci si sofferma su due cresciuti sul suolo italiano. In Sardegna si trova l'olivo selvatico di Luras (Sassari). Si stima che abbia oltre tremila anni, è alto 14 metri, mentre la circonferenza del tronco misura 18 metri. Il suo tronco è attraversato dal picco di un potente nordovest. La sua area di influenza bioenergetica si sviluppa fino a oltre 100 metri di distanza con benefici efficaci sul sistema immunitario, circolatorio, sul fegato e l'intestino. Il secondo albero è il platano dei cento bersaglieri a Caprino Veronese. Esso risale al 1370 ed è il più grande d'Italia, con circonferenza alla base di 15 metri. In corrispondenza di un potente picco da ovest verso est, crea una vasta area bioenergetica verso est di 80 metri, con effetti favorevoli per il sistema linfatico, immunitario, e per la tiroide.

Tutt'oggi l'antenna Lecher non è stata sostituita, data la sua semplicità e versatilità. Tuttavia, la ricerca nel settore dei rilievi strumentali è in evoluzione, dispositivi sempre più sensibili e

avanzati hanno confermato gli studi sul *bioenergetic landscape*. Per esempio, Konstantin Korotkov dell'Università di San Pietroburgo, utilizza apparecchi di biorisonanza e di bioelettrografia GDV per rilevare attraverso il contatto lo stato elettromagnetico della persona. A questi si aggiungono numerosi rilievi in campo ottico, infraottico, e vibrazionale utilizzando telecamere computerizzate con sensori come la TRV, in grado di catturare anche a distanza campi energetici o vibrazioni di debolissima intensità emesse dai viventi. Queste



tecniche provano l'esistenza dei HEF e VEF, ovvero *Human Energy Field* e *Vegetable Energy Field*, e l'interazione tra essi. "Le verifiche strumentali sono state eseguite con queste e altre apparecchiature sia nelle aree benefiche sia al di fuori di esse utilizzando varie tipologie di piante. I risultati dimostrano che all'interno di queste aree si ottiene un incremento dello Stato energetico complessivo dell'organismo rispetto alla stessa tipologia di misurazione eseguita poco prima, a pochi metri di distanza ma di fuori di questi spazi. Risulta addirittura sorprendente il drastico abbassamento del livello di stress ottenuto in pochi minuti di sosta in queste condizioni, e come questo effetto si produca anche con il contatto fisico o l'abbraccio con alberi benefici."

### 3.5 Educazione in natura

Molti studi, come riporta “La terapia segreta degli alberi”, hanno evidenziato che gli esseri umani hanno una preferenza innata per gli ambienti naturali, una preferenza che deriva dai 200 000 anni che la nostra specie ha vissuto in ambienti non antropizzati, tanto che dal punto di vista biologico non siamo tanto diversi dai nostri antenati e che l'impronta della natura sui nostri comportamenti più istintivi è ancora molto marcata. Pare però che molti bambini che crescono in contesti urbanizzati sviluppino un senso di avversione verso gli spazi naturali, con sentimenti di paura verso il mondo selvatico e animale, e la mancanza di interesse per escursioni nei boschi o in ambienti rurali, spesso sostituita dall'attrazione verso gli schermi dei dispositivi elettronici. Infatti, si può ipotizzare che il gradimento per la vegetazione non sia solo innato, ma sia anche influenzato dall'educazione infantile dove la vita all'aria aperta partecipa attivamente alla costruzione dello sfondo cognitivo di un individuo, che rimarrà impresso a lungo nella propria memoria culturale. La frequentazione di questi spazi naturali fin dall'infanzia, riesce ad abbattere le nostre paure, a prendere confidenza con essi e a farci godere delle innumerevoli occasioni esperienziali offerte dalla natura. Il mondo della scuola, se da una parte dovrebbe essere più a misura di bambino in molti contesti della società contemporanea, d'altra parte ha perso il legame con i ritmi, le esigenze, le dinamiche della quotidianità dei bambini, che hanno bisogno di esplorare e conoscere il loro mondo. Gli elementi che caratterizzano l'organizzazione scolastica sono funzionali al controllo degli adulti e non alle esigenze dei più piccoli. Nel contesto odierno dove poche famiglie stimolano i figli a frequentare spazi naturali, dove molti genitori risultano iperprotettivi



e la maggior parte del sistema scolastico è competitivo e poco accogliente delle diversità individuali, l'educazione in natura vuole essere soprattutto uno spazio di riequilibrio per la salute fisica e psicologica dei bambini. Ciò si realizza attraverso il gioco spontaneo e la destrutturazione dei percorsi di apprendimento, in cui gli adulti seguono, comprendono e sostengono i percorsi guidati dai bambini. Anche i silenzi, la noia, il conflitto e il rischio, sono tutte opportunità di crescita e sono considerate una ricchezza e non una criticità.

La pedagogia del bosco fa parte dell'ampia branca della Outdoor Education, un insieme di approcci che hanno in comune il fatto di svolgersi all'aperto, in luoghi non troppo antropizzati, e di mettere al centro la relazione tra persone e ambiente per creare esperienze educative significative. Selima Negro nel suo libro “Pedagogia del bosco” identifica cinque tematiche che racchiudono le basi della pedagogia nel bosco:

- **Immersione nel selvatico**, è la base imprescindibile per uno sviluppo sano ed equilibrato dei bambini e la stimolazione di tutte le capacità essenziali per l'apprendimento e la vita.

- **Apprendimento come ricerca**, percorsi di apprendimento che si basano sulla motivazione intrinseca e sulla curiosità, sulla ricerca e riflessione, sulle relazioni, l'esperienza diretta e il gioco spontaneo.
- **Programma emergente**, gli adulti hanno il ruolo di accompagnatori, seguono il percorso dei bambini, osservano, documentano, riflettono ed effettuano rilanci progettuali per sostenere i percorsi di apprendimento.
- **Educazione al e con il rischio**, è opportunità di crescita e scoperta, attraverso l'esperienza diretta ogni persona sviluppa competenze per la gestione del rischio, e deve rimanere protagonista delle proprie strategie per affrontare i rischi.
- **Vita al campo base**, l'organizzazione del luogo deve favorire lo sviluppo di autonomia, la partecipazione e la risposta ai bisogni di ognuno, deve permettere il contatto col selvatico ma essere luogo sicuro e di dialogo.

È fondamentale che questa tipologia educativa sia vissuta con continuità e frequenza perché i bambini possano avere il tempo e gli strumenti per sviluppare un'esperienza significativa. Il bambino, in primo luogo, crea familiarità col luogo selvatico, comprendendo le connessioni che ci legano alle altre forme di vita, per passare poi a una fase esplorativa e di ambientamento, fino alla fase di creatività e appropriazione degli spazi. Continuità significa almeno due o tre ore al giorno fuori, fino a 5 o 6, in ogni stagione e con ogni tempo atmosferico, la nebbia, la pioggia, il buio, il sole, arricchiscono la nostra esperienza e aiutano

ad avere cognizione dei cicli vitali e dei processi di trasformazione del mondo in cui viviamo. Ciò è necessario per educare e stimolare il bambino a vivere l'esterno, e per evitare di crescere individui che vivono solo all'interno degli edifici, bisogna abituarli ad apprezzare ogni situazione ambientale: le pozzanghere, la pioggia, il



ghiaccio, il fuoco, imparando che “Non esiste buono o cattivo tempo, ma buono o cattivo equipaggiamento” (Baden Powell). Le attività all'aperto si basano sull'esplorazione, attraversando con fluidità vari scenari e paesaggi ambientali. L'attività dell'esplorazione è alla base di ogni esperienza di Outdoor education: se da una parte la familiarità con un luogo è importante, dall'altra lo è anche la possibilità di rinnovare la curiosità e l'interesse in posti nuovi e diversi. Infatti, la giornata tipo, di molte realtà di asili nei boschi, consiste nel ritrovo, la partenza per l'esplorazione o camminata, i momenti dei pasti e il gioco spontaneo di alcune ore.

## Selvatichezza.

<<E noi abbiamo bisogno di permettere alle nuove generazioni di vivere, guardare e riguardare attentamente l'ambiente di cui fanno e facciamo parte. La conoscenza dei fenomeni naturali e la percezione della loro mutevolezza conducono bambini e adulti a percepirsi, né come proprietari o padroni né come difensori della natura, ma come parte integrante di essa e a sviluppare una nuova consapevolezza ambientale.>> Salvaterra e Schenetti

L'immersione nel selvatico è un'esperienza che aiuta a sviluppare una cultura meno antropocentrica, aperta alla trasformazione, all'evoluzione e all'adattamento. È una cultura che pone al centro la relazione tra gli esseri umani e gli altri esseri viventi, e vede l'apprendimento come una capacità di adattamento alle reti e relazioni che costituiscono il mondo in cui si vive, e non solo al contesto sociale presente. Nel contesto della pedagogia del bosco, l'ambiente selvatico è già pronto ad accogliere il bambino. La vera maestra è la natura: l'insieme di elementi atmosferici e materici, la presenza degli altri esseri viventi, l'infinita gamma di stimoli sensoriali, la possibilità di trasformazione e interazione. L'ambiente selvatico contiene in sé tutte le risposte ai bisogni di sperimentazione di ciascuno. Si pensi alla stimolazione sensoriale per un bambino sotto l'anno: fuori i suoi occhi potranno inseguire una grande varietà di forme colori in movimento, le sue orecchie potranno avvertire suoni continui e improvvisi vicini e lontani conosciuti e nuovi, la sua pelle sarà esposta al caldo dei raggi del sole, al freddo di un sasso, al bagnato della rugiada, il suo naso potrà catturare profumi e odori differenti. Uno degli obiettivi dello sviluppo dei primi anni di vita riguarda proprio la capacità di integrazione sensoriale, ricevere e decodificare diverse stimolazioni sensoriali provenienti contemporaneamente da diverse parti del corpo, per trarre informazioni necessarie a comprendere le situazioni e agire nello spazio in cui ci troviamo. Immaginiamo invece il bisogno di sperimentazione motoria di una bambina di 4/5 anni: nell'ambiente selvatico può trovare lo spazio sufficiente a sperimentare la velocità e la distanza; alberi, scarpate rocce per misurarsi nella verticalità, nel peso, nel salto; stare nell'immensamente piccolo e nell'immensamente ampio, solo un'attività motoria sufficiente potrebbe garantire il corretto sviluppo muscolo scheletrico.

Benefici del gioco spontaneo nel selvatico secondo le quattro diverse aree dello sviluppo.

- **Corporea**, stimolazione del sistema immunitario e del sistema linfatico, sviluppo del muscolo scheletrico. Sviluppo delle competenze motorie di spostamento e di posizione, coordinazione, stimolazione sensoriale e termoregolazione.
- **Cognitiva**, capacità di osservare interpretare e descrivere, pensiero scientifico, capacità di problem solving ed improvvisazione, concentrazione e attenzione, creatività, immaginazione e fantasia curiosità, senso critico, capacità di formulare ipotesi, teorie e verificarle.
- **Socio-emotiva** consapevolezza dei propri bisogni e propri limiti, autonomia e autostima, collaborazione, cooperazione e negoziazione, gestione dei conflitti,

valutazione e gestione di rischi e imprevisti, responsabilità, resilienza, capacità di iniziativa, attivazione nella noia e gestione dello stress.

- **Ecologica.** Connessione con il mondo intorno a noi, comprensione degli equilibri e dei processi di trasformazione. Consapevolezza dei limiti fisici dell'ambiente.

## **Apprendimento come ricerca e programma emergente**

La pedagogia del bosco propone una nuova visione dell'insegnamento, non più come una pratica frontale diretta dall'adulto, in cui vengono presentate nozioni semplificate e convenzionali. I bambini sono invece soggetti attivi dei propri percorsi di apprendimento e imparano con un insieme di strategie sofisticate e complesse di cui sono gli autori. In molti contesti educativi tradizionali invece che osservare sono osservati da adulti che in gran parte hanno un unico compito e ruolo, creare in modo artificiale esperienze significative per l'apprendimento dei bambini. È fondamentale invece che i bambini possano essere parte attiva, in grado di ascoltare e seguire la propria motivazione interna. L'obiettivo primario di ogni educatore consiste nel conoscere, rispettare e aiutare a far fiorire la motivazione intrinseca di ciascun bambino. Non a caso "Educare" deriva dal latino, e significa tirare fuori, condurre. Come riporta Selima Negro: <<Noi siamo accompagnatori, non stiamo davanti ai bambini, non vogliamo togliere loro la vista delle strade che possono prendere.>> Il gioco spontaneo, infatti, a tutte le età, esercita il pensiero funzionale: è fondamentale per numerosi processi cognitivi di alto livello come lo sviluppo dell'attenzione, la capacità di pianificare, organizzare, prefigurare sequenze di azioni, prendere decisioni, e selezionare le informazioni utili in ciascun contesto. Il pensiero funzionale è fondamentale per la scuola e la vita in generale e il suo sviluppo viene ostacolato quando i bambini non hanno sufficienti possibilità di sperimentare un tempo non strutturato dagli adulti.

## **Educazione al e con il rischio**

Uno dei momenti in cui si sviluppa l'esperienza della scelta e dell'autonomia è l'incontro con un rischio evidente, che è una sensazione prodotta dall'interazione tra le proprie conoscenze, emozioni e istinto. Valutare il rischio significa saper stare in una dimensione di incertezza e complessità, e fare atto di equilibrio tra obiettivi e risorse, pericoli e benefici e come affrontare le conseguenze. In questo schema, possiamo applicare strategie che abbiamo imparato con l'esperienza, e farla evolvere attraverso nuove situazioni. Oggi assistiamo a un diffuso fenomeno di genitori apprensivi e iperprotettivi, una preoccupazione generalizzata che porta alla prevenzione di tutti i rischi a cui potrebbero essere sottoposti i bambini. Di fatto questi fanno una vita poco libera e controllata costantemente dagli adulti. Per i genitori il rischio più grave è che i loro bambini perdano tempo facendo scelte sbagliate. Esso diventa un circolo vizioso: meno hanno la possibilità di esercitare la loro competenza nel compiere scelte basate sulla loro valutazione del rischio, più è probabile che non svilupperanno adeguatamente questa competenza. I benefici per la salute, lo sviluppo senso-motorio, socio emotivo, cognitivo ed ecologico sono molto maggiori degli effettivi pericoli. Con l'approccio esperienziale i bambini possono esercitarsi direttamente nella

gestione del rischio, imparando competenze e potenzialità fondamentali per la loro vita. La dimensione del rischio si può inserire nei contesti educativi all'aperto in due modi: in primo luogo proponendo attività con chiari elementi di pericolo, quali strumenti e attrezzi affilati o taglienti, o l'accensione di un fuoco, in cui l'adulto accompagna i bambini con informazioni e istruzioni. In secondo luogo, progettando la cornice in cui lasciare margine all'improvvisazione e all'imprevisto, per misurarsi in modo naturale con la dimensione del rischio. L'uso di attrezzi è una caratteristica fondamentale della nostra specie, permette di esercitare l'uso delle mani, la forza, il controllo, la coordinazione, la concentrazione, la valutazione del rischio e delle relazioni di causa effetto. È proprio nei giochi pericolosi, che i bambini si misurano con la propria fragilità, con le proprie paure, con l'ottimismo e la fiducia di farcela. In particolare, giochi con le altezze, con la velocità, con attrezzi pericolosi, vicino ad elementi pericolosi, giochi a fare la lotta e a nascondersi o perdersi. Questi giochi hanno la funzione di sviluppare strategie per affrontare le situazioni rischiose, in ambienti all'aperto, con tanto spazio, dove la varietà degli ambienti e l'imprevedibilità creano scenari stimolanti per il gioco rischioso.

### **Vita al campo base**

Infine, si desidera affrontare il tema del "Campo base", luogo di riferimento dell'azione educativa, rifugio sicuro nelle situazioni di maltempo, fonte di calore, ristoro e acqua, magazzino di tutti gli strumenti e materiali. Esso è il principale strumento che facilita la frequentazione di spazi naturali, in grado di coadiuvare l'educazione delle nuove generazioni, deve essere progettato in modo ecosostenibile e rispettoso del contesto. Deve essere comunque un luogo all'aperto, che si trasforma con il tempo e le stagioni, sempre in dialogo vivo con il selvatico, grazie a confini chiari ma anche aperti, accessibili e trasparenti. Selvatico e antropico devono comunicare, il selvatico non dovrebbe essere un altrove, il campo base deve aprire all'incontro con la natura e non chiudere, deve invitare a partire e a scoprire cosa si nasconde dietro ai primi alberi. Nel campo base è necessaria una progettazione dell'adulto che crei le condizioni necessarie: ricchezza e varietà di materiali, un'organizzazione che faciliti l'accesso libero e autonomo dei bambini agli strumenti e la partecipazione ai compiti di vita quotidiana. I bambini, occupati per la maggior parte del tempo nel gioco spontaneo, hanno bisogno di avere a disposizione alcune risorse e materiali destrutturati come: fuoco, acqua e fango, sabbia e ghiaia, sassi e mattoni, pigne, conchiglie, rami, tronchi, creta, contenitori, secchi, carriole, travi, corde, alberi o strutture per arrampicare, siepi o cespugli, teli e tende, attrezzi come seghe, martelli, chiodi. Inoltre, si possono inserire realtà come il cerchio di tronchi, lenzuoli per la pittura, angoli per la lettura, laboratorio di falegnameria.

## 4 La proposta di un sistema costruttivo per abitare in natura

Preso atto nei capitoli precedenti dei molteplici ruoli benefici che le foreste svolgono per la salute del pianeta e dei nostri organismi, ci si introduce al tema progettuale fissando i punti chiave di tali tematiche e analizzando alcuni esempi architettonici realizzati nell'ultimo secolo. «Il problema del riscaldamento globale dipende dall'anidride carbonica e si affronta in due maniere: da una parte non se ne deve produrre più; dall'altro sappiamo anche che l'anidride carbonica già presente nell'atmosfera può essere sottratta attraverso le piante. Se noi piantassimo un numero sufficiente di alberi, potremmo riportare indietro l'anidride carbonica non a livello preindustriale ma comunque ridurre di due terzi il disavanzo». Per raggiungere questo obiettivo al pianeta, oggi, servono mille miliardi di alberi. Quanto costano? Dove li mettiamo? Il costo non ci dovrebbe interessare perché qualunque sia la cifra sarebbe comunque una frazione irrilevante rispetto ai danni che subiremmo se non si mettesse a dimora questa quantità. L'altro tema è: ci sarebbe abbastanza spazio? La

risposta è sì. Se dividessimo questi mille miliardi per gli abitanti del pianeta, a noi italiani toccherebbe metterne a dimora due miliardi. Sembra un'enormità ma se solo utilizzassimo le terre abbandonate dall'agricoltura dagli anni Novanta ad oggi, potremmo mettere a dimora, in Italia, fino a sei miliardi di alberi».71 Noi animali tutti quanti insieme siamo lo 0,3% della



biomassa; i funghi sono l'1,2%, poi ci sono i microrganismi e infine le piante che rappresentano l'85% della biomassa presente sulla terra. Noi animali siamo una parte talmente minuscola dei viventi da risultare imbarazzante, meno dello 0,5%. Tutto il resto sono piante. Il mondo vegetale costituisce il 99,5% di tutto ciò che vive, non c'è animale che regga il paragone di dimensioni o longevità con loro. Questi numeri sono la rappresentazione quantitativa della capacità di risolvere problemi ambientali da parte degli esseri viventi. Sono le piante e la vegetazione che permettono di creare i giusti presupposti per la vita animale e umana, sono loro che producono ossigeno consumando anidride carbonica, sono loro in grado di regolare le caratteristiche ambientali e atmosferiche. Oggi risulta necessario riordinare le priorità di consumo del suolo da parte della vegetazione e del cemento, appare essenziale dare la precedenza di occupazione del terreno alla vegetazione, fermare la cementificazione di nuovi terreni e progettare nuovi modelli di abitare e edificare, in grado di inserirsi nella vegetazione.

---

71 Stefano Mancuso, unimondo.org Giovedì, 15 Ottobre 2020

Per comprendere quanto sia necessario un cambio di mentalità riguardo all'importanza di piante e foreste si citano due terminologie del nostro lessico. Il primo termine è "**Verde ornamentale**", col quale si è soliti chiamare ciò che si coltiva ma non per uso industriale o alimentare. L'ornamento per definizione è qualcosa di superfluo che decora, e così anche in edilizia rimane una voce marginale. La seconda terminologia è invece "**Arredo urbano**", che condivide con l'ornamento il carattere di non necessità, per cui c'è un soggetto imprescindibile che è il costruito e il verde può solo ornare o arredare. In ambito edilizio risulta necessario attuare un cambiamento radicale per sviluppare e realizzare edifici che si adattino alla vegetazione, perché essa sia l'elemento prioritario e non il contrario. Il nocciolo della questione non consiste nel costruire altri spazi verdi, finché continueremo a separare lo spazio dedicato agli umani da quello dedicato alle piante, non effettueremo il salto di qualità necessario.

Oggi, nei paesi più sviluppati circa l'80% della popolazione abita in contesti urbani o suburbani. Il distacco dalla natura è già avvenuto, e le nuove generazioni cresceranno sempre più separate dai contesti selvatici, con limitate possibilità di sperimentarli e prendere confidenza con essi. Gli ambienti naturali e incontaminati sono usciti dalla nostra quotidianità, e sono diventati una possibile attrazione, da programmare, raggiungere tramite ore di viaggio e visitare per mezza giornata prima di fare ritorno alla città. Per 200.000 anni abbiamo vissuto in contesti naturali, attraverso diverse tecniche per nutrirci, abitare, ripararci, proteggerci e anche oggi esistono molti esempi di edilizia sostenibile capace di integrarsi in ambienti naturali con bassi impatti su di essi. Negli ultimi decenni è stata posta particolare attenzione al mondo vegetale, tanto da cambiare la prospettiva per la quale il verde è stato considerato un servizio e la città la nostra dimora. Come riporta Maurizio Corrado in "Il sentiero dell'architettura porta nella foresta"<sup>72</sup>, la proposta consiste nell'invertire i ruoli, il verde può tornare ad essere il nostro luogo dell'abitare e l'architettura può fungere da facilitatore di questo processo.

---

<sup>72</sup> Il sentiero dell'architettura porta nella foresta, Maurizio Corrado, *FRANCO ANGELI*, edizione 2012

## 4.1 Soluzioni esistenti per abitare in natura

Di seguito si analizzano alcuni esempi di opere architettoniche realizzate in contesti naturali, con particolare attenzione alle peculiarità che permettono a questi edifici di adattarsi allo spazio residuale della vegetazione e favorire la relazione con essa.

Nick Olson e Lilah Horwitz, una coppia americana, hanno comprato e rigenerato un capanno abbandonato nei boschi di Milwaukee, nel West Virginia. Nel loro progetto hanno scelto di aprire lo spazio interno verso la luce e il paesaggio, realizzando un'intera parete vetrata tramite il riutilizzo di più di 20 finestre. Questa parete particolare oltre a permettere un contatto visivo con la natura, consente anche di aprire alcuni elementi per rimuovere



momentaneamente la chiusura vetrata, eliminando la separazione tra interno ed esterno. L'altra caratteristica vincente di questo edificio consiste nelle sue piccole dimensioni, capaci di adattarsi agli spazi residui tra gli alberi e rimanere in secondo piano rispetto al paesaggio.



Villa Fransworth, si trova in una foresta vicino a Plano, a 80 km da Chicago in Illinois, ed è stata progettata e realizzata da Mies van der Rohe tra il 1945 e il 1951. La struttura è realizzata tramite 8 pilastri in acciaio e due elementi a lastra orizzontali per il pavimento e la copertura. La divisione tra spazio interno ed esterno viene messa in opera mediante pareti vetrate, che permettono un completo contatto percettivo con la natura. L'altro aspetto che si intende sottolineare riguarda il rapporto spaziale con l'esterno. La loggia e il terrazzo, infatti, forniscono occasioni ulteriori per entrare in relazione con l'ambiente: una terrazza scoperta a quota ribassata e una loggia coperta per permettere di vivere l'esterno anche in presenza di precipitazioni.

La casa sull'albero progettata dallo studio tedesco Baumraum in Belgio, è un luogo in cui l'impresa committente e gruppi esterni possono incontrarsi per discutere questioni di sostenibilità e protezione ambientale. L'idea alla base del progetto è nata dalla piegatura di una foglia che consente di collegare fluidamente l'interno e l'esterno attraverso un unico elemento continuo che genera i solai e una parete. Il complesso è composto da cinque elementi: due cabine su diversi livelli, i terrazzi di collegamento, le rampe di scale e l'elemento di collegamento del tetto. Le cabine e le terrazze superiori poggiano su 19 supporti in acciaio inclinati che sono fondati nel terreno con viti auto perforanti in acciaio. Il livello inferiore ospita un bar lounge, una piccola dispensa, la zona toilette e il locale tecnico. Il livello superiore ospita la sala conferenze tra gli alberi che è il cuore del progetto. Il complesso risulta particolarmente interessante per tre aspetti. L'insieme dei volumi è separato dal suolo da una serie di pali alti circa 4 metri lasciando libero il suolo sottostante. L'innalzamento dei volumi non solo evita la risalita di umidità dal terreno ma diminuisce anche l'accessibilità alla fauna selvatica. Questa soluzione eleva lo sguardo dall'interno, permettendo una maggior visuale sull'intorno e crea uno spazio coperto a terra dove godere del paesaggio. Il secondo aspetto da evidenziare riguarda la separazione dei volumi. La scelta di dividere l'edificio in due blocchi riduce le dimensioni apparenti della costruzione, facilitando l'inserimento dei volumi in secondo piano rispetto al contesto. Infine lo sfalsamento dei volumi e l'appoggio delle scale all'albero facilitano l'intreccio tra architettura e vegetazione.



### Riassumendo:

- **Piccoli edifici nascosti nel paesaggio**, inserimento in secondo piano dell'architettura nel verde.
- **Appoggio puntiforme**, e edificio rialzato dal terreno
- **Rapporto visivo**, massimo contatto visivo col verde attraverso grandi superfici vetrate
- **Rapporto spaziale**, creare spazi in cui vivere l'esterno con terrazzamenti sia scoperti che coperti.

## 4.2 Obiettivi di progetto

In base agli ambiti indagati nei precedenti capitoli, si individuano qui gli obiettivi principali e le relative condizioni da imporre al modello che si intende proporre riguardante un sistema costruttivo per abitare in contesti boschivi. In secondo luogo, queste condizioni vengono tradotte in soluzioni e tecniche concrete. Data la complessità del problema dal punto di vista burocratico e impiantistico, si escludono questi e altri temi dalla progettazione. È evidente che realizzare edifici in contesti naturali implichi necessarie infrastrutture viarie per l'accessibilità e infrastrutture impiantistiche per l'adduzione di elettricità e acqua come per la depurazione e lo scarico delle acque reflue. Il progetto si focalizzerà sulla proposta di un modello costruttivo differente, in cui moduli prefabbricati semplifichino le attività edilizie e favoriscano il riuso dei componenti prima del loro riciclo. In questa ottica ci si concentra sul sistema costruttivo, sulla modularità e sugli aspetti tecnici, senza approfondire la progettazione della copertura, degli impianti e dell'isolamento termico, che verranno considerati ai fini del progetto e del calcolo senza essere però approfonditi.

Questa idea, che sembra proporre la fuga di massa dalla città al fine di vivere come eremiti isolati dal mondo, cerca in realtà di creare le condizioni migliori per la vita umana, che oggi giorno sembrano non poter far a meno del contatto con un contesto urbano, in grado di offrire molte opportunità professionali, educative e culturali. In primo luogo, infatti, si specifica che il modello proposto cerca le sue applicazioni residenziali in **contesti suburbani** o con relativa accessibilità ad aggregati urbani. In secondo luogo, si immagina la formazione di **complessi abitativi** formati da singoli edifici autonomi, in modo da ottimizzare l'adduzione impiantistica e l'accessibilità viaria garantendo la socialità e la collaborazione.



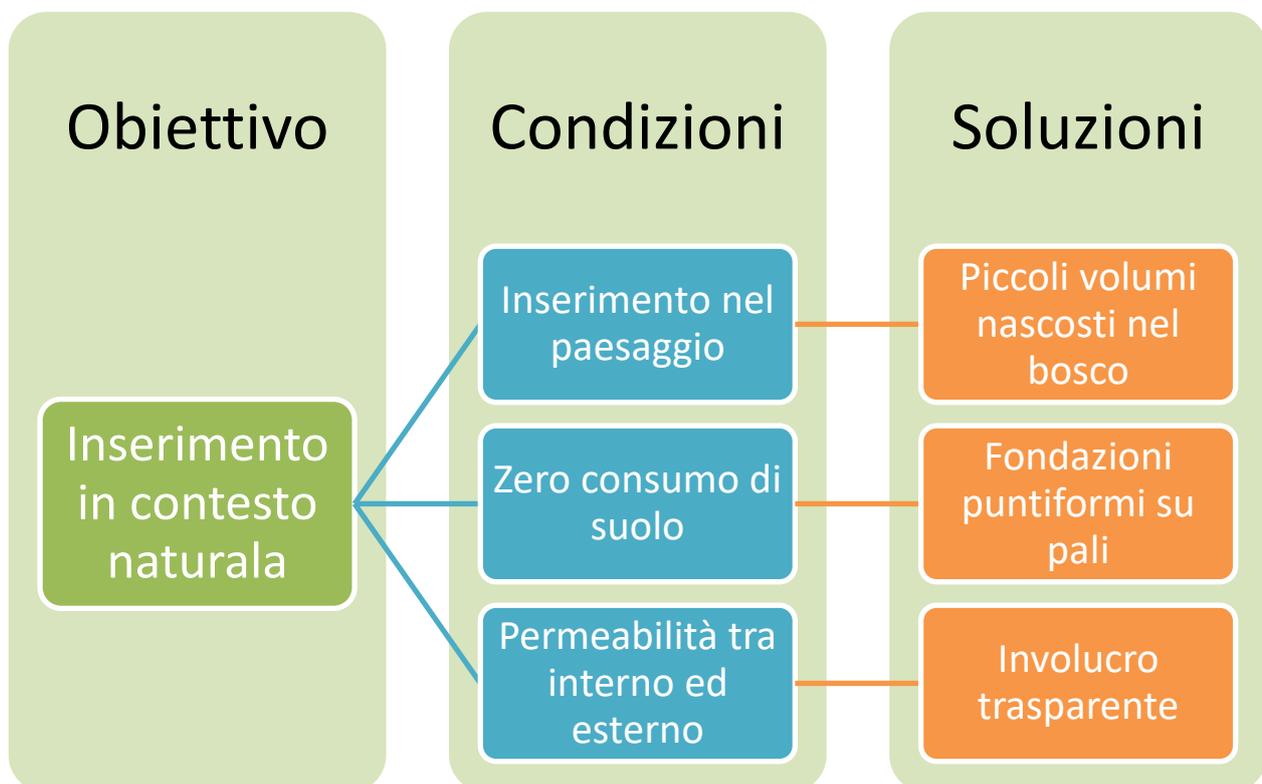
Date le moltissime caratteristiche che diversificano gli ecosistemi e gli ambienti naturali, il modello costruttivo in questione viene proposto per una tipologia di ambiente con determinate specificità. In particolare, si sceglie di basarsi sul territorio della provincia di Bologna, caratterizzato da **boschi di latifoglie decidue**, che si estendono dalla zona pianeggiante a quella precollinare e collinare, ad un'altitudine massima di circa 600m sul livello del mare.

Una volta inquadrato il tema di progetto, si analizzano ora i principali obiettivi che guidano l'ideazione e lo sviluppo di questo elaborato. I due macro-obiettivi sono:

- L'inserimento dell'architettura in contesti boschivi
- Inseguire la massima sostenibilità dell'intervento in tutto il suo ciclo di vita

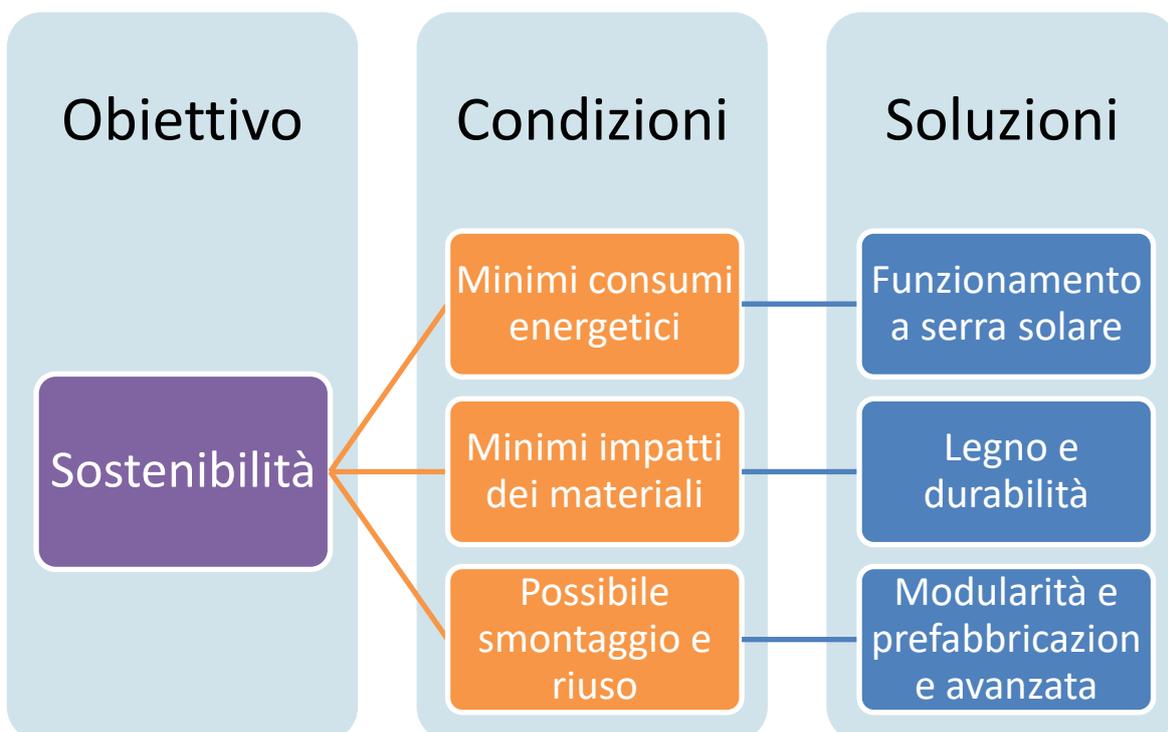
#### 4.2.1 Obiettivo: Inserimento in contesto boschivo

L'obiettivo principale che ci si pone è quello di portare le persone al contatto quotidiano col contesto naturale, realizzare edifici che facilitino la relazione con l'ambiente nel quale ci siamo evoluti e che permette una qualità di vita elevata, sia a livello fisico che mentale. Perciò la condizione principale riguarda le modalità con cui inserire questi edifici in ambienti naturali, rispettando il contesto nel suo paesaggio e nelle sue risorse. Inserirsi con discrezione in un contesto dominato dalla vegetazione, significa adeguarsi ai caratteri del luogo e porsi in secondo piano rispetto ad esso, in modo da lasciare alle piante il ruolo principale. Per soddisfare questa condizione si decide di incentrare il progetto su piccoli edifici che siano in grado di collocarsi sotto le chiome degli alberi senza alterare il paesaggio. In secondo luogo, per preservare le risorse del contesto, si pone la condizione di minimo impatto sul suolo, individuando come soluzione tecnica l'appoggio a terra tramite micropali di fondazione, elementi puntiformi e profondi. Questa tecnologia influisce molto sulla struttura di tutto l'edificio, obbligando a scaricare il peso solo in alcuni punti distanti tra loro, perciò la condizione di minimo impatto sul suolo, ha guidato alla considerazione di un'altra soluzione strutturale, cioè l'applicazione del concetto di travatura reticolare alla parete intera dell'edificio. Data la ridotta accessibilità di questi contesti boschivi, risulta però necessario declinare il concetto di trave reticolare in un insieme di moduli semplici da trasportare e da movimentare. L'ultima condizione legata al contesto riguarda il rapporto percettivo e visivo che l'architettura instaura con l'esterno. Risulta assurdo adattare gli edifici a vivere l'ambiente naturale per poi erigere grandi muri di separazione che non ne permettano la visione. In tal senso l'ultima soluzione tecnica legata a questo macro-obiettivo consiste nel realizzare ampie pareti vetrate per massimizzare la relazione tra interno ed esterno.



## 4.2.2 Obiettivo: Sostenibilità

Il secondo macro-obiettivo che si pone in questo lavoro riguarda il tema della Sostenibilità. Come riportato nel capitolo 2, il settore delle costruzioni e del funzionamento degli edifici è uno dei più inquinanti a livello globale tanto che nel settore edile l'approccio sostenibile è già parte integrante della progettazione dei nuovi edifici. La prima condizione che si pone riguarda la minimizzazione dei consumi energetici, infatti, la collocazione di un volume edilizio all'interno di un bosco può presentare dei vantaggi: durante le stagioni calde le chiome degli alberi schermano l'edificio dai raggi solari e i processi di evapotraspirazione raffrescano l'aria, mentre durante le stagioni fredde gli alberi spogli permettono ai raggi solari di riscaldare l'ambiente interno grazie ad ampie vetrate. La tematica dell'isolamento termico non verrà trattata in questo elaborato, ma è importante sottolineare come l'inserimento di edifici in contesti boschivi possa ridurre notevolmente la necessità di rinfrescamento nella stagione estiva. Il secondo punto mira invece all'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale e il legno si pone come soluzione rinnovabile che immagazzina grandi quantità di CO<sub>2</sub> e mostra una flessibilità di lavorazione in grado di adattarsi a soluzioni strutturali variegata. Questo materiale, essendo di origine vegetale richiede però un'adeguata conoscenza per attuare le corrette pratiche al fine di preservarne la durabilità che rischia altrimenti di vanificarne il potenziale. L'ultima condizione che si impone al modello in questione riguarda la semplicità di cantierizzazione e la possibilità di riuso degli elementi, evitando nuove lavorazioni per il riciclaggio del materiale. Le soluzioni che permettono di soddisfare queste richieste sono la prefabbricazione spinta e la modularità. La prima permette di giungere in cantiere con macroelementi da assemblare, riducendo i tempi, i costi e gli impatti della fase di cantiere. La seconda permette la generazione di spazi di dimensioni diverse tramite l'utilizzo di un modulo, che a fine impiego può essere smontato e riutilizzato in un altro contesto e per altre richieste funzionali e spaziali.



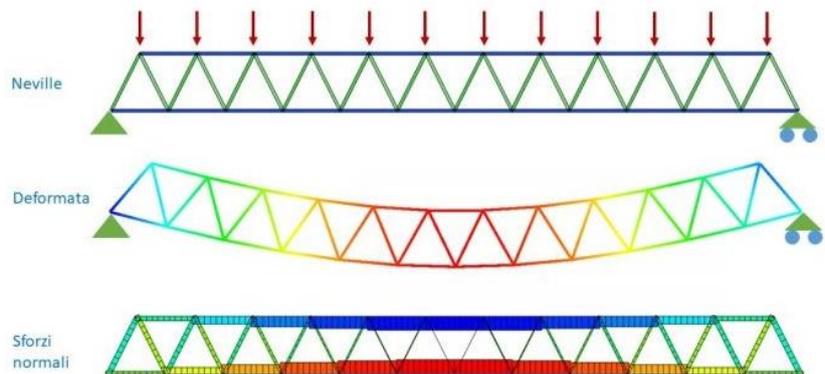
## 4.3 Il modulo



Gli obiettivi di inserimento in natura e di sostenibilità, attraverso le loro condizioni, guidano in modo particolare la scelta formale e dimensionale del sistema costruttivo. In prima istanza la condizione di minimo impatto sul suolo ha condotto all'adozione del concetto di travatura reticolare applicato alle pareti dell'edificio. L'idea consiste nel creare un sistema strutturale rigido, in grado di scaricare il proprio peso verso il terreno in pochi punti distanti tra di loro. La rigidità ricercata viene garantita da una serie di travature reticolari ad altezza corrispondente a quella dei locali interni, ovvero 2,70 m. Data la ridotta accessibilità ai contesti boschivi e forestali, risulta necessario declinare il concetto di travatura reticolare in un insieme di moduli semplici

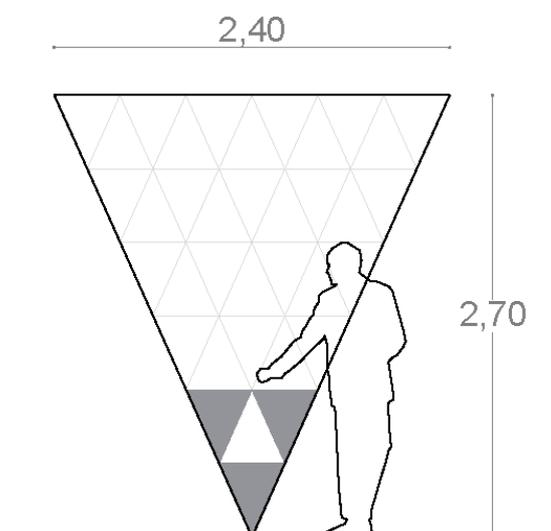
da trasportare e da movimentare attraverso i comuni mezzi di ridotte dimensioni presenti sul mercato. Di conseguenza l'adozione della reticolare ha indirizzato anche le scelte legate alla forma del modulo. Nello specifico la tipologia di travatura a schema di Neville o Warren, priva di montanti verticali con solo aste diagonali convergenti a due a due, è stata scelta in funzione della divisione in moduli triangolari e della necessità di assicurare un comportamento unitario una volta assemblati.

La tecnologia della travatura reticolare ad altezza di interpiano si compone di due elementi orizzontali allineati ai solai e da elementi inclinati a tutta altezza, in mezzo ai quali si creano dei vuoti triangolari che possono essere completati con pareti di tamponamento vetrate, permettendo una ampia permeabilità visiva tra interno ed esterno e consentendo un comportamento a serra solare per ottimizzare i consumi energetici.



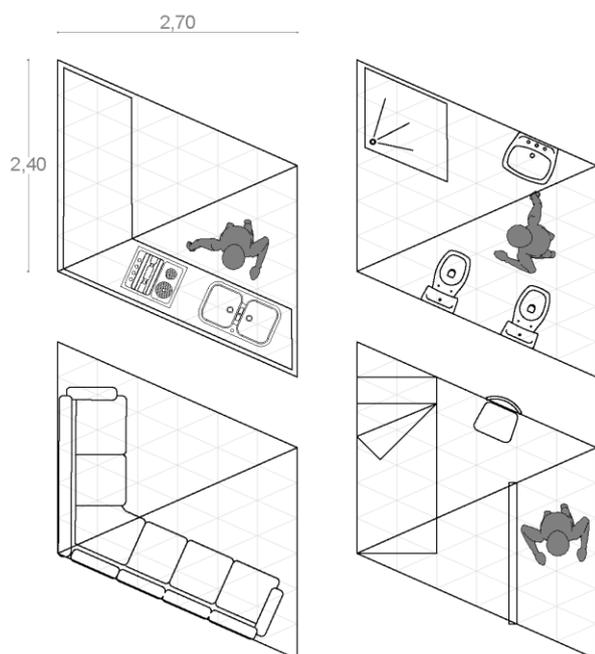
### 4.3.1 Geneesi dei moduli principali

Al fine di individuare le dimensioni finali dei moduli del sistema costruttivo si sceglie di basare la ricerca su una griglia modulare, generata da una forma coerente con la travatura reticolare di tipo Neville. Perciò viene preso come modulo generatore della griglia un triangolo isoscele con la base lunga 40cm e l'altezza di 45cm, in quanto misure compatibili con gli ingombri del corpo umano, degli elementi di arredo o di frazioni di questi. Questa specificità viene ricercata sia in prospettiva che in pianta come si osserva negli schemi qui riportati. A partire dalle griglie generate da questo triangolo base, sono state analizzate le spazialità e le dimensioni di aree triangolari o di forme da esse derivate. In prima istanza, posta l'altezza interna minima per un'abitazione a 2,70 m, si sono ottenute le dimensioni e le forme del modulo parete direttamente dalla griglia. In particolare, per raggiungere tale altezza si necessitano di sei strati di moduli base, in cui ad ogni strato diminuisce il



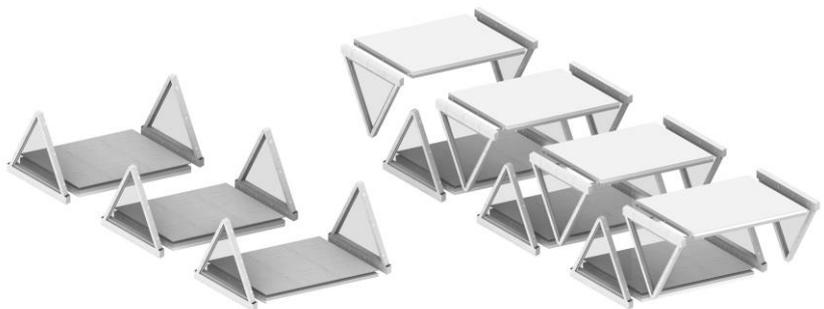
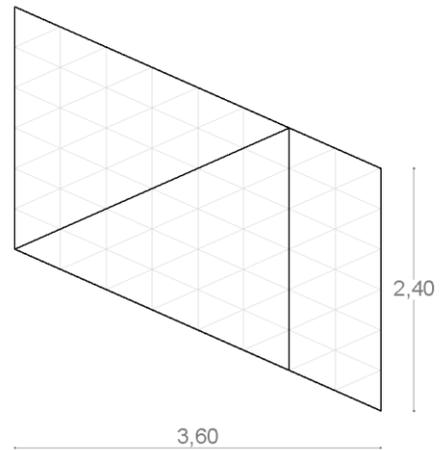
numero dei moduli. In questa maniera le misure divengono di 2,40 m alla base e 2,70 m in altezza. A partire da questo primo risultato, si è avviato il processo di ideazione dei moduli di solaio, capaci di sostenere il carico

verticale e di trasmetterlo alle travature reticolari chiudendo l'involucro sia inferiormente che superiormente. La prima ipotesi ha visto il tentativo di utilizzare il modulo di parete ottenuto anche per la zona dei solai. L'idea prevedeva che ad ogni modulo verticale, fosse collegato un modulo orizzontale, in modo da farne coincidere le basi. Nei tentativi eseguiti si è riscontrata grande difficoltà nella disposizione degli ambienti e i relativi arredi in uno spazio così ristretto (2,70 m di larghezza), evidenziando però una unità base a forma di parallelogramma, composta da due moduli in grado di ospitare elementi di arredo su 3 lati e permettere il passaggio centrale di una persona. Da

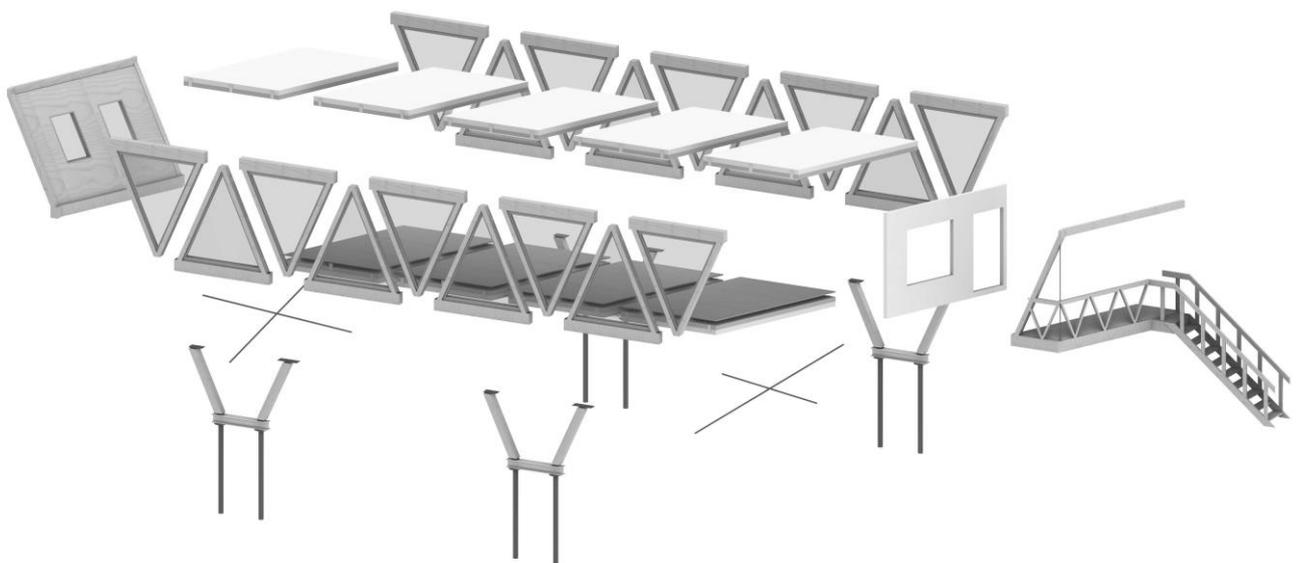


queste osservazioni è derivata l'esigenza di aumentare la lunghezza dei moduli solaio, in modo da ingrandire la superficie utile o in modo da riservare lo spazio per il passaggio di un corridoio laterale corrispondente a due moduli, cioè 90 cm.

Nel tentativo di elaborare un sistema costruttivo capace di assolvere richieste dimensionali diverse, si è ritenuto necessario far dipendere le misure dei solai da quelle dei moduli di parete. Così l'unità base evidenziata in precedenza, composta da due moduli parete ruotati di 180° tra di loro, viene allungata con l'aggiunta di due livelli di moduli, a formare un parallelogramma con i lati corti corrispondenti alla base del modulo parete e la distanza fra questi pari a 3,60 m. L'idea di progetto consiste nel creare travature reticolari portanti corrispondenti alle pareti longitudinali dell'edificio, alle quali vengono appoggiati gli elementi orizzontali, che devono garantire la flessibilità modulare adattandosi alle misure della struttura primaria. Il sistema costruttivo così pensato genera corpi e volumi allungati, larghi 3,60 m ma flessibili nell'altra direzione. Un corpo allungato può essere realizzato mediante due travature con 3 moduli di parete ciascuna e un solo modulo di solaio inferiore che fornisce un'area di 9,8 m<sup>2</sup>. Nel sistema ideato, ad ogni modulo di parete con la base verso il basso corrisponde un modulo solaio e due moduli parete con la base verso il lato opposto ad esso adiacenti. A partire dal singolo modulo solaio, si può allungare la parete longitudinale, considerando che ogni solaio rappresenta un ambiente minimo come un bagno, una cucina, e una stanza singola.



A partire dal singolo modulo solaio, si può allungare la parete longitudinale, considerando che ogni solaio rappresenta un ambiente minimo come un bagno, una cucina, e una stanza singola.

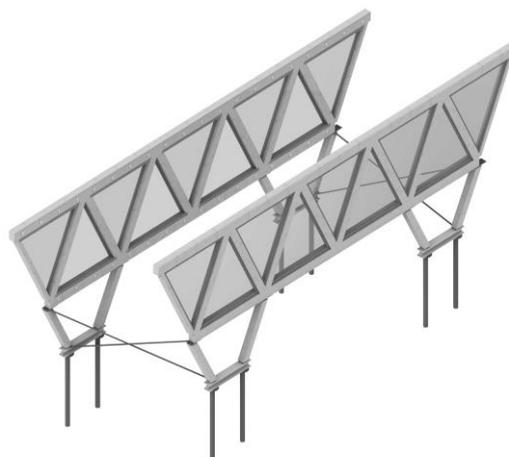


### 4.3.2 Tipologie di modulo: il sistema

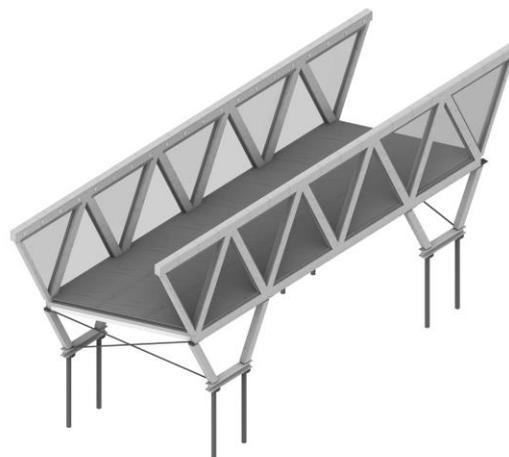
Per facilitare la comprensione del funzionamento del sistema costruttivo si presentano qui a fianco le fasi di costruzione. Nella prima immagine si osservano i micropali di fondazione, ai quali viene connessa in sommità una trave di acciaio e sopra ad essa gli elementi inclinati o puntoni che trasmettono il carico dalle pareti ai pali di fondazione. Questi elementi sono controventati da due tiranti metallici per garantire la loro stabilità in senso trasversale.



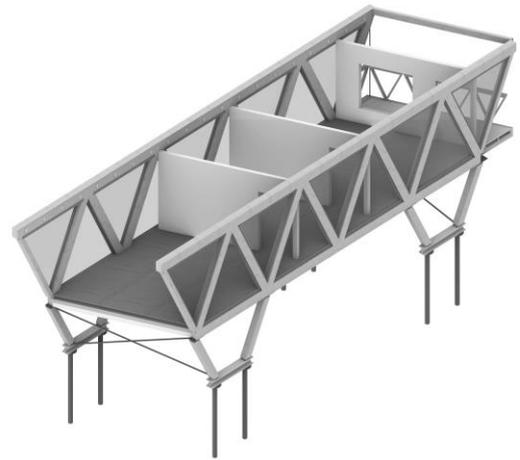
Nella seconda immagine si comprende il concetto chiave del progetto. Sopra ai puntoni di fondazione precedentemente mostrati, si appoggiano le travature reticolari, che oltre ad essere le pareti longitudinali dell'edificio rappresentano anche l'elemento strutturale principale. Infatti, il carico verticale che agisce sui solai di abitazione e di copertura viene trasmesso alle pareti, che a loro volta lo trasmettono al terreno in pochi punti isolati, senza richiedere una fondazione continua. Le due pareti in figura, anche se uguali, si installano però sfalsate, adattandosi ai lati inclinati del modulo solaio. I moduli di parete si dividono in due tipologie: quelli con la base verso il basso e quelli con la base verso l'alto. La struttura lignea è esattamente la stessa, ma i due tipi si differenziano per la posizione e la tipologia delle connessioni, sia all'interno della parete che tra parete e solaio.



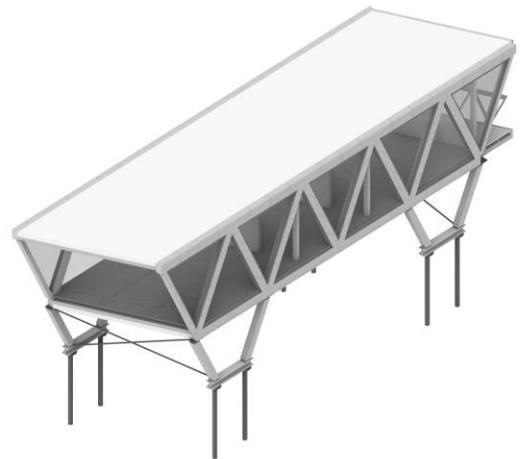
Nell'ultima immagine si osserva la fase di inserimento dei solai inferiori che avviene dall'alto verso il basso. In questo caso vi sono quattro moduli di solaio di abitazione come il numero dei moduli di parete con la base verso il basso. Questi moduli a forma di parallelogramma presentano uno spessore di quaranta centimetri, al cui interno sono presenti un pavimento flottante con lo spazio necessario all'alloggiamento degli impianti, il pannello portante di X-Lam da dodici centimetri e uno strato di isolante. Non esistono varie tipologie di solaio di abitazione, ma durante la fase di prefabbricazione possono essere preparate le connessioni necessarie per collegare i solai con le pareti.



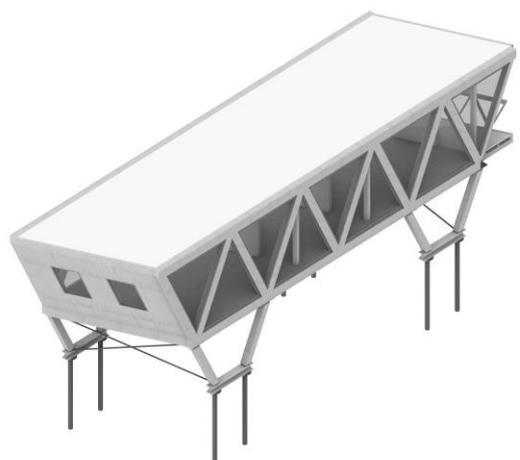
Dopo l'inserimento dei solai inferiori l'edificio viene completato tramite la collocazione degli elementi trasversali come le pareti interne divisorie provviste di porta, oppure tramite l'inserimento delle chiusure esterne. Queste sono sempre pareti trasversali che seguono il profilo inclinato del lato lungo dei solai ma vi sono due tipologie. La prima tipologia di parete trasversale esterna è la parete di ingresso, rettilinea verso l'alto ma inclinata come il solaio, provvista di porta e di finestra come si nota in alto nell'immagine. A questa parete si associa un terrazzo pari a metà modulo solaio di raccordo con le scale di accesso oppure vi si può accedere da un modulo solaio utilizzato come terrazzo coperto.



Una volta collocate le pareti trasversali, si procede alla chiusura superiore del volume mediante l'inserimento sempre dall'alto verso il basso dei moduli di solaio di copertura. Questi hanno le medesime dimensioni in pianta dei solai di abitazione ma presentano una diversa stratificazione. All'interno dello spessore di venti centimetri, sono presenti solo il pannello portante di X-Lam protetto superiormente da uno strato di isolante termico. Nonostante questo modulo presenti le stesse dimensioni, viene collocato sempre in  $(n+1)$  moduli rispetto al solaio inferiore, in quanto il livello superiore è allineato con le basi dei moduli pareti orientati verso l'alto.

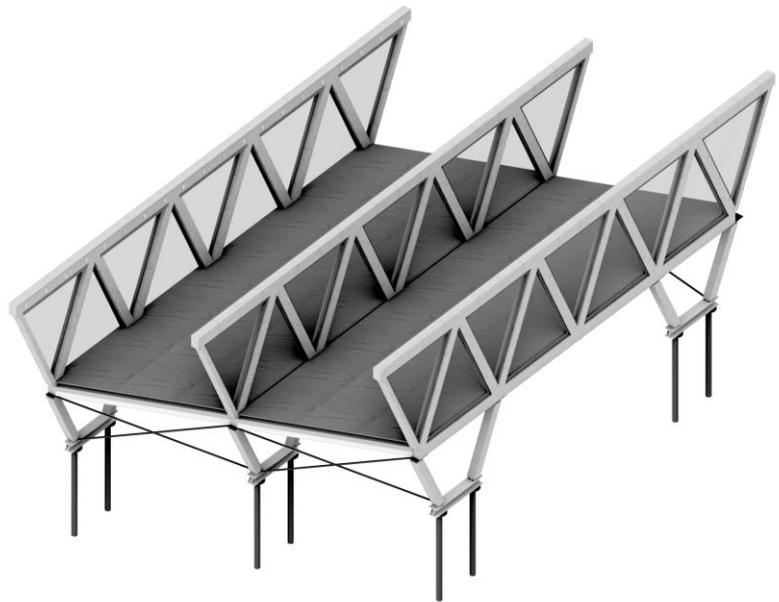


La seconda tipologia di chiusura esterna è la parete doppiamente inclinata che oltre a seguire il profilo del solaio, raccorda i due livelli in senso trasversale, dove risultano sfalsati di metà solaio. Tutte queste pareti trasversali ma quella doppiamente inclinata in modo particolare, assolvono al ruolo di controventamento della struttura in senso trasversale, necessario per evitare che il corpo allungato si deformi, cioè per evitare che, in presenza di sollecitazioni indotte dal sisma o dall'azione del vento, il solaio inferiore e quello superiore scorrano in modo relativo tra di loro portando le travature reticolari fuori dal loro piano verticale.

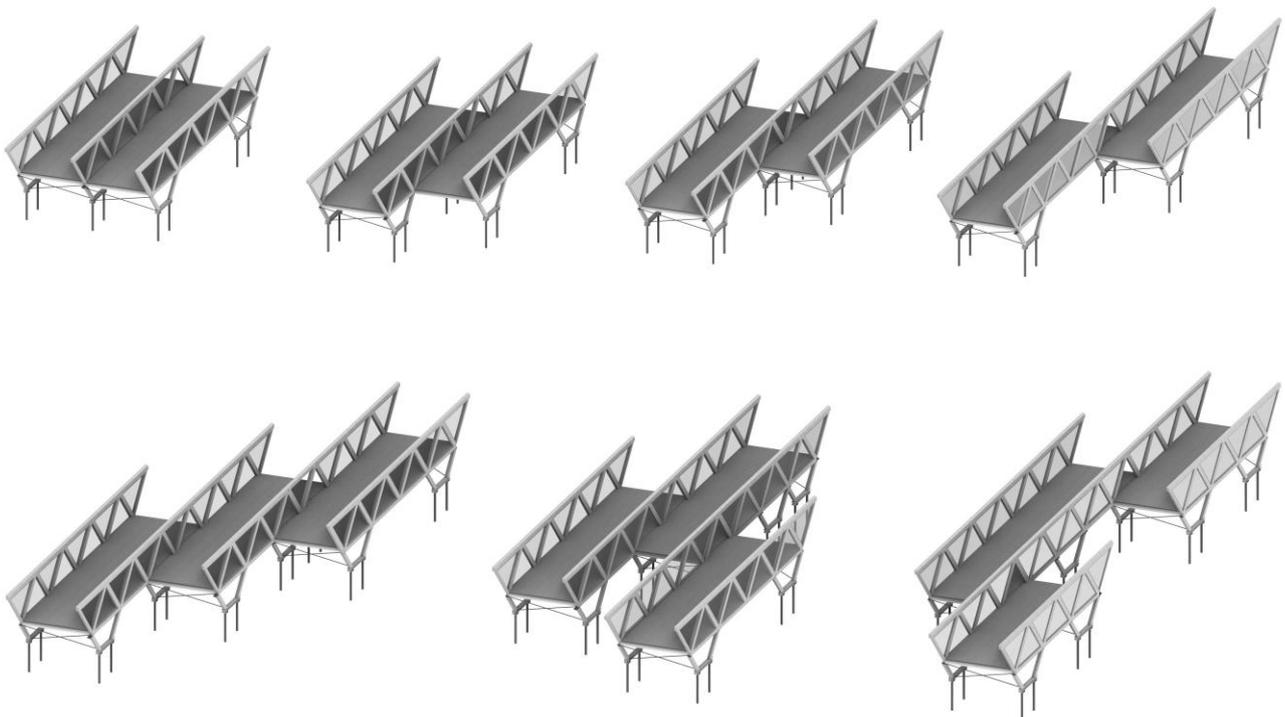


### 4.3.3 Combinazione di corpi allungati

Dopo aver approfondito le fasi di costruzione e le tipologie di moduli che compongono un corpo allungato, si analizzano ora le possibilità di ripetizione di questo elemento e le sue aggregazioni con sé stesso. Questa opzione progettuale non si realizza mediante un semplice accostamento di due unità, ma si ottiene grazie a moduli di parete ai quali vengono connessi solai da entrambi i lati. Questo significa che se accostiamo tre travature



reticolari, possiamo collegarle mediante due file di moduli solai. Le travature esterne porteranno il carico di mezzo modulo solai, mentre la travatura centrale o interna dovrà sostenere il carico derivante da due metà di solai. Questa soluzione amplia le possibilità architettoniche, infatti le travature possono scorrere lungo il loro piano oppure possono essere di dimensioni diverse riducendo il numero di solai. Nell'evoluzione del progetto tale peculiarità è stata ricercata al fine di garantire un miglior adattamento agli spazi residui creati dagli alberi e una maggiore flessibilità in luogo di progetto. Al fine di connettere i due volumi dal punto di vista dell'accessibilità, si introduce qui il modulo di parete privo di tamponamento vetrato, che permette l'attraversamento della travatura reticolare per spostarsi da un corpo ad un altro.

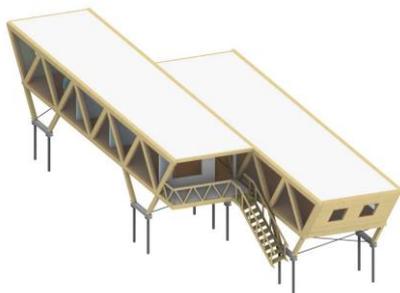
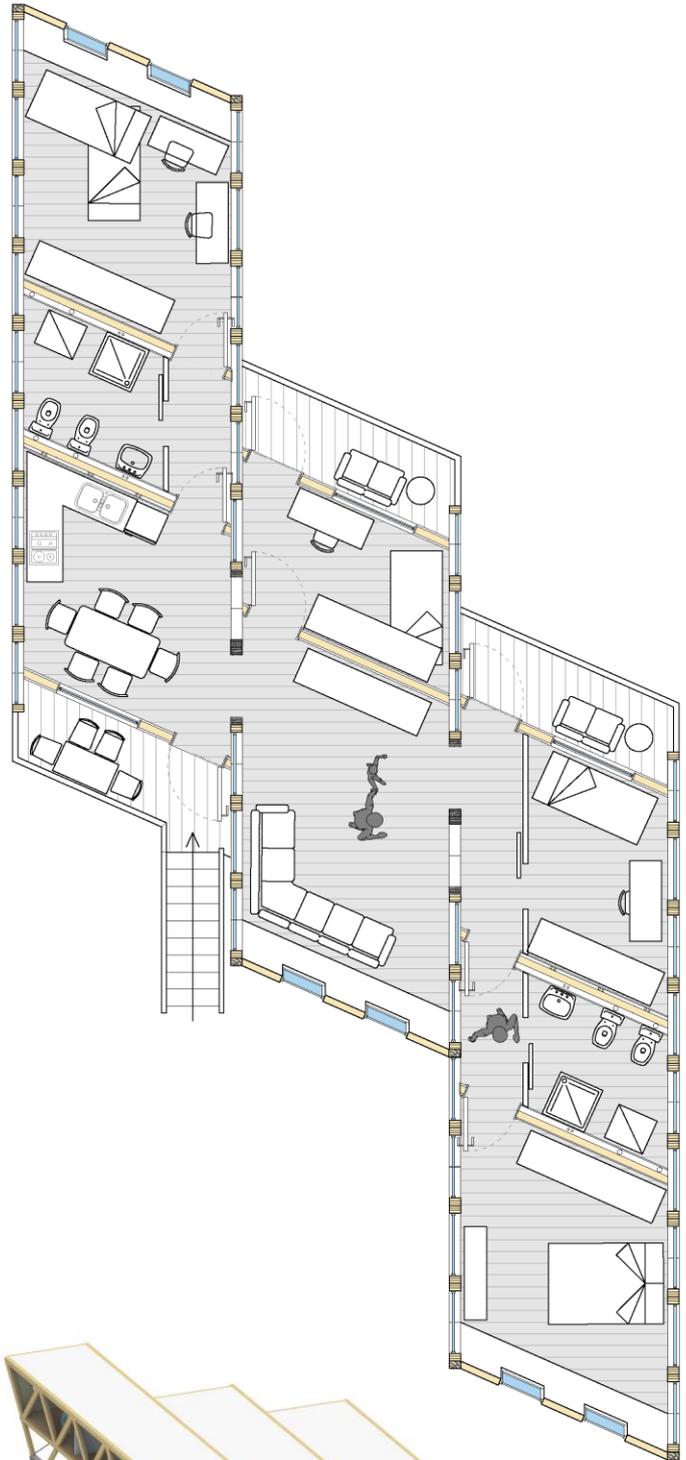
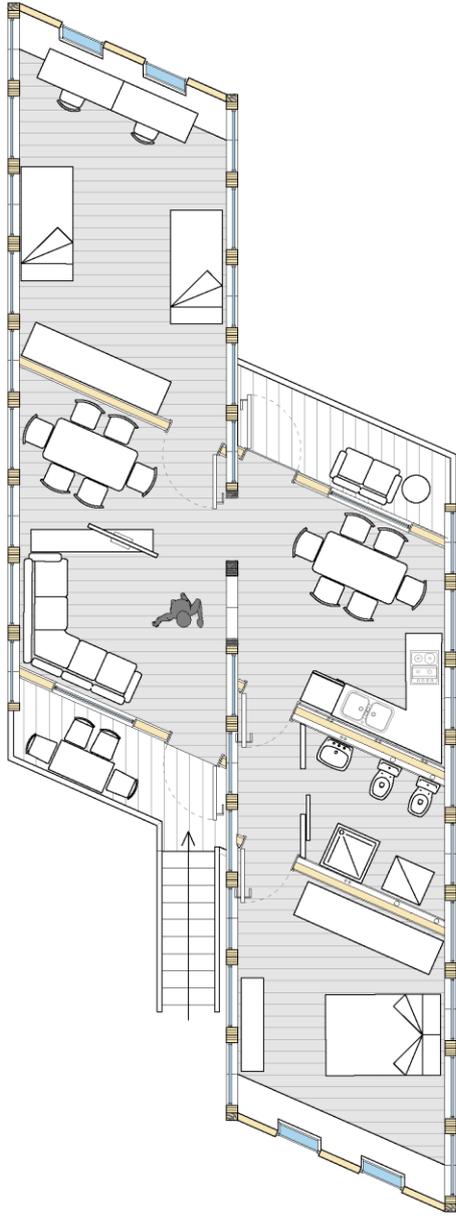


#### 4.3.4 Unità abitative tipo per 2-4-6 persone

Per mostrare a livello concreto le potenzialità del sistema costruttivo si rappresentano in questa sezione quattro unità abitative arredate per un numero di abitanti precisi. La definizione degli ambienti si ottiene in base al posizionamento delle pareti interne che può avvenire all'estremo di un modulo di solaio o nell'esatta mezzeria. In questa pagina vengono mostrate le ipotesi abitative per due persone con l'utilizzo di quattro moduli solaio e di 3 persone con l'impiego di sei moduli solaio.



Considerando nuclei familiari con un numero maggiore di componenti, si ipotizzano delle distribuzioni spaziali sempre più grandi. Nello specifico viene qui rappresentata una soluzione per quattro persone utilizzando 8 moduli solai e una soluzione per 6 persone con l'impiego di 11 moduli solai.





## 5 Relazione di calcolo e verifica degli elementi strutturali

### Caratteristiche dei materiali

I materiali previsti nel progetto sono elencati nelle seguenti tabelle.

Descr.	Descrizione
$f_{m,k}$	Resistenza caratteristica a flessione
$f_{t,0,k}$	Resistenza a trazione parallela alla fibratura
$f_{t,90,k}$	Resistenza a trazione ortogonale alla fibratura
$f_{c,0,k}$	Resistenza a compressione parallela alla fibratura
$f_{c,90,k}$	Resistenza a compressione ortogonale alla fibratura
$f_{v,k}$	Resistenza a taglio
$E_{0,mean}$	Modulo elastico medio parallelo alla fibratura
$E_{0,05}$	Modulo elastico caratteristico parallelo alla fibratura
$E_{90,mean}$	Modulo elastico medio ortogonale alla fibratura
$G_{mean}$	Modulo di taglio
$\rho_k$	Massa volumica
$f_{v,k,lastra}$	Resistenza a taglio del pannello XLAM a lastra
$f_{R,k}$	Resistenza a taglio per rolling shear
$f_{T,k}$	Resistenza torsione incroci del pannello XLAM
$G_{R,mean}$	Modulo di taglio per rolling shear

### Legno lamellare omogeneo

Descr.	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mea}$ [MPa]	$G_{mean}$ [MPa]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]
GL 24h - EN 14080	24	19,2	0,5	24	2,5	3,5	11500	9600	300	650	385

### Legno massiccio di conifera

Descr	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mea}$ [MPa]	$G_{mean}$ [MPa]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]
C 24	24	14,5	0,4	21	2,5	4	11000	7400	370	690	350

## 5.1 Analisi dei carichi

I pesi propri dei materiali strutturali sono riportati nella tabella sottostante in  $\text{kN/m}^3$

Descrizione	Peso volumico $\gamma$ [ $\text{kN/m}^3$ ]
GL 24h - EN 14080	5
C 24 - Essepi	5
C 24	5

### 5.1.1 Peso modulo Parete

Corrente: 30x20 0,81 kN

Diagonali: 12x20 0,72 kN

Vetro:  $2,8 \text{ m}^2$  (A) x 2 (n° vetri) x 0,01 cm (spessore) =  $0,056 \text{ m}^3 \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1,4 \text{ kN}$

$P = 0,81 + 0,72 + 1,4 = 2,93 \text{ kN/modulo o nodo}$ , quindi considero un carico di  $\frac{2,93}{3} = 0,97 \text{ kN}$  su ogni nodo per ogni modulo afferente.

### 5.1.2 Peso modulo Solaio di Abitazione

Peso pannello Xlam 120mm strutturale :  $0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pannelli e montanti per isolante :  $0,04 \times 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pavimento flottante =  $0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pannello termoisolante in fibre di kenaf e canapa **KENISOL**:  $0,12 \text{ m} \times 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Peso solaio per  $\text{m}^2$  :  $0,54 + 0,24 + 0,5 + 0,048 = 1,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Di conseguenza **nel caso peggiore in cui afferiscono due solai su una travatura reticolare**, sui moduli corrispondenti e in particolare in ogni nodo graverà un carico aggiuntivo di :

$1,33 \times 9,8 \text{ m}^2 = 13,03 \text{ kN}$

Nel caso in cui afferisca un solo solaio su una travatura reticolare:  $1,33 \times 4,9 \text{ m}^2 = 6,52 \text{ kN}$

### 5.1.3 Peso modulo Solaio di Copertura

Peso pannello Xlam 120mm strutturale :  $0,54 \frac{kN}{m^2}$

Pannelli e montanti per isolante :  $0,02 \times 5 \frac{kN}{m^3} = 0,1 \frac{kN}{m^2}$

Pannello termoisolante in fibre di kenaf e canapa **KENISOL**:  $0,12 \text{ m} \times 0,4 \frac{kN}{m^3} = 0,048 \frac{kN}{m^2}$

Peso totale:  $0,54 + 0,1 + 0,048 = 0,69 \frac{kN}{m^2}$  che corrispondono a :  $0,69 \times 9,8 \text{ m}^2 = 6,76 \text{ kN}$  di carico su ogni nodo superiore della reticolare dovuto al solaio di copertura

### 5.1.4 Per la copertura:

Peso di 4 montanti inclinati,  $4 \times 0,7 \text{ m}^2 \times 0,08 \times 5 \frac{kN}{m^3} = 1,12 \text{ kN}$

Peso pannello e manto impermeabile:  $0,03 \text{ m} \times 6 \frac{kN}{m^3} = 0,18 \text{ kN}$

Isolante interposto a montanti:  $0,7 \text{ m}^2 \times 2,7 \text{ m} \times 0,4 \frac{kN}{m^3} = 0,76 \text{ kN}$

Peso totale :  $1,12 + 0,18 + 0,76 = 2,06 \times 2 = 4,12 \text{ kN}$  di carico su ogni nodo superiore della reticolare dovuto al piano inclinato di copertura.

Calcolando il carico dovuto al solaio e al piano di copertura si ottiene :  $6,76 + 4,12 = 10,88 \text{ kN}$

Nel caso di singolo solaio afferente avremo:  $6,76 \times 0,5 + 4,12 = 7,5 \text{ kN}$

**Carico pareti interne**  $0,6 \frac{kN}{m^2}$

**Carico variabile solaio abitazione**  $2,0 \frac{kN}{m^2}$

**Carico della neve**  $1,2 \frac{kN}{m^2}$

**Carico di manutenzione tetto**  $0,5 \frac{kN}{m^2}$

## 5.2 Azione del vento

La pressione del vento si valuta mediante l'espressione:  $p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$

- $p$  pressione del vento
- $q_r$  pressione cinetica di riferimento
- $C_e$  coefficiente di esposizione
- $C_p$  coefficiente di forma
- $C_d$  coefficiente dinamico

- La Pressione Cinetica di riferimento si ottiene mediante l'espressione:  $q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2$   
 $\rho$  è la densità dell'aria assunta pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento:  $v_b = v_{b,0} \cdot c_a$

$c_a = 1$  con tempo di ritorno di 50 anni

$v_{b,0} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  velocità base di riferimento per la regione Emilia-Romagna

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 \text{ N/m}^2$$

- Il Coefficiente di Esposizione  $k_s = 0,20$ ,  $z_0 = 0,10$ ,  $z_{min} = 5 \text{ m}$ .

Si utilizza l'espressione  $C_e(z) = k_r^2 C_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ z + C_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] = 1,577$  avendo considerato  $z = 5 > z_{min} = 5 \text{ m}$ ,  $C_t = 1$  coefficiente di topografia,

- Il Coefficiente di Forma per coperture con ridotta pendenza delle falde ( $\alpha < 20^\circ$ ) vale  $C_{pe} = -0,4$  per le depressioni e  $C_{pe} = 0,8$  per le pressioni.
- Il Coefficiente Dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza.

$$p (C_p = 0,8) = 492,78 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Il carico del vento agente su una parete reticolare risulta quindi:

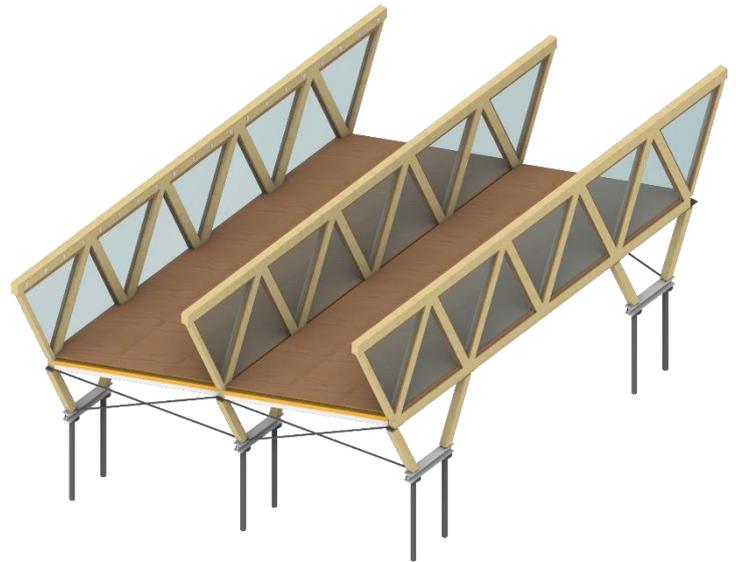
$$\text{(SLE)} \quad Q = p \cdot A = 0,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 48 \text{ m}^2 = \mathbf{23,52 \text{ kN}}$$

$$\text{(SLU)} \quad Q = 1,5 (p \cdot A) = 1,5 \cdot 0,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 48 \text{ m}^2 = \mathbf{35,28 \text{ kN}}$$

Questo carico si ripartisce nelle pareti divisorie e in quelle di chiusura in testa, mentre sotto l'edificio viene assorbito da due elementi di controvento.

## 5.3 Combinazione delle azioni

Si calcola il carico agente su ogni nodo strutturale della reticolare di parete effettuando una differenziazione sia tra nodi superiori ed inferiori che tra travatura reticolare interna ed esterna. Nel caso di travatura interna l'area di influenza dei solai risulta il doppio nei solai di abitazione.



### Travatura reticolare interna:

#### Solaio di copertura

$$\text{SLU} \quad Q = 1,3 (2,93 + 10,88) + 1,5 (1,2 \times 9,8) = 35,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{SLE} \quad Q = 2,93 + 10,88 + 1,2 \times 9,8 = 25,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### Solaio di Abitazione

$$\text{SLU} \quad Q = 1,3 (2,93 + 0,6 \times 9,8 + 13,03) + 1,5 (2 \times 9,8) = 57,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{SLE} \quad Q = 2,93 + 0,6 \times 9,8 + 13,03 + 2 \times 9,8 = 41,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### Travatura reticolare esterna:

#### Solaio di copertura

$$\text{SLU} \quad Q = 1,3 (2,93 + 7,5) + 1,5 (1,2 \times 7,35) = 26,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{SLE} \quad Q = 2,93 + 7,5 + 1,2 \times 7,35 = 19,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

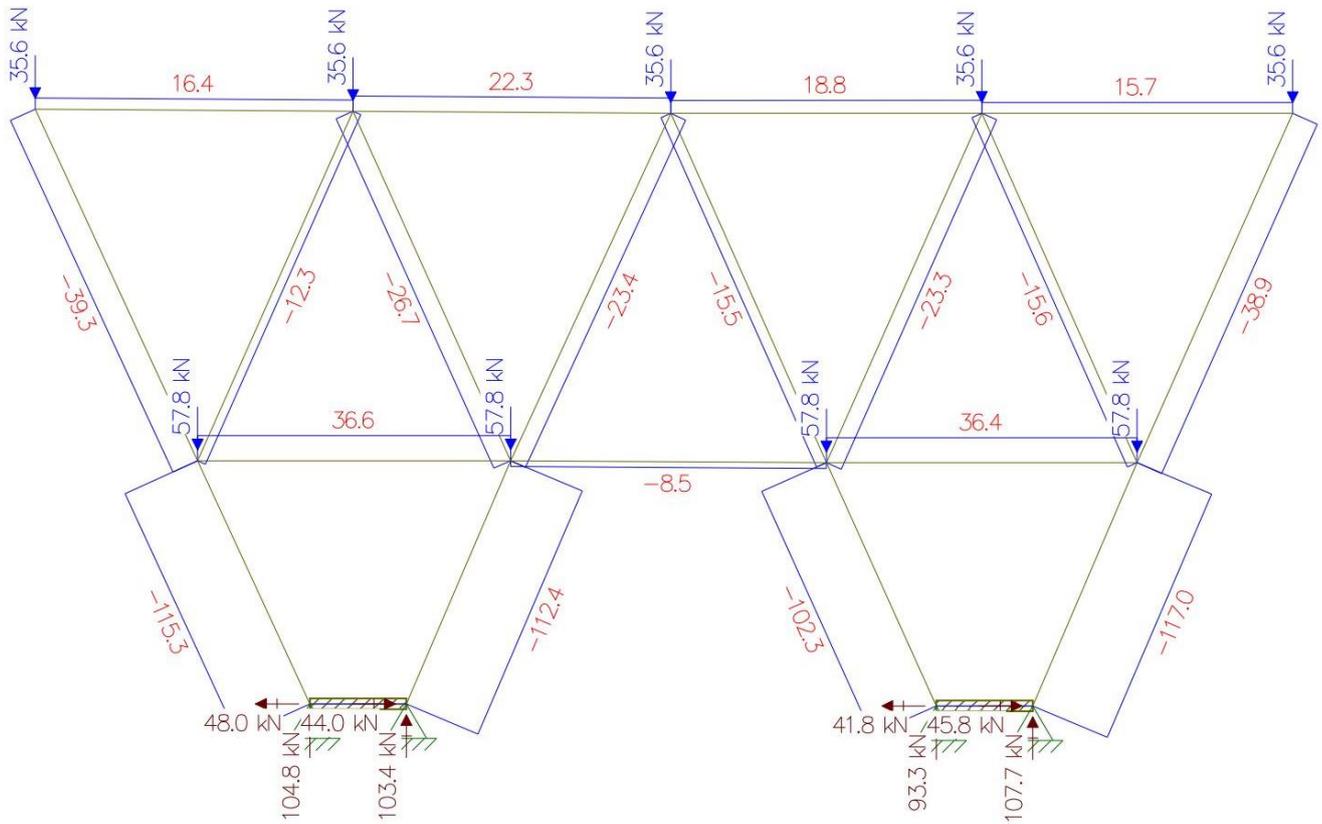
#### Solaio di Abitazione

$$\text{SLU} \quad Q = 1,3 (2,93 + 0,6 \times 4,9 + 6,52) + 1,5 (2 \times 4,9) = 30,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

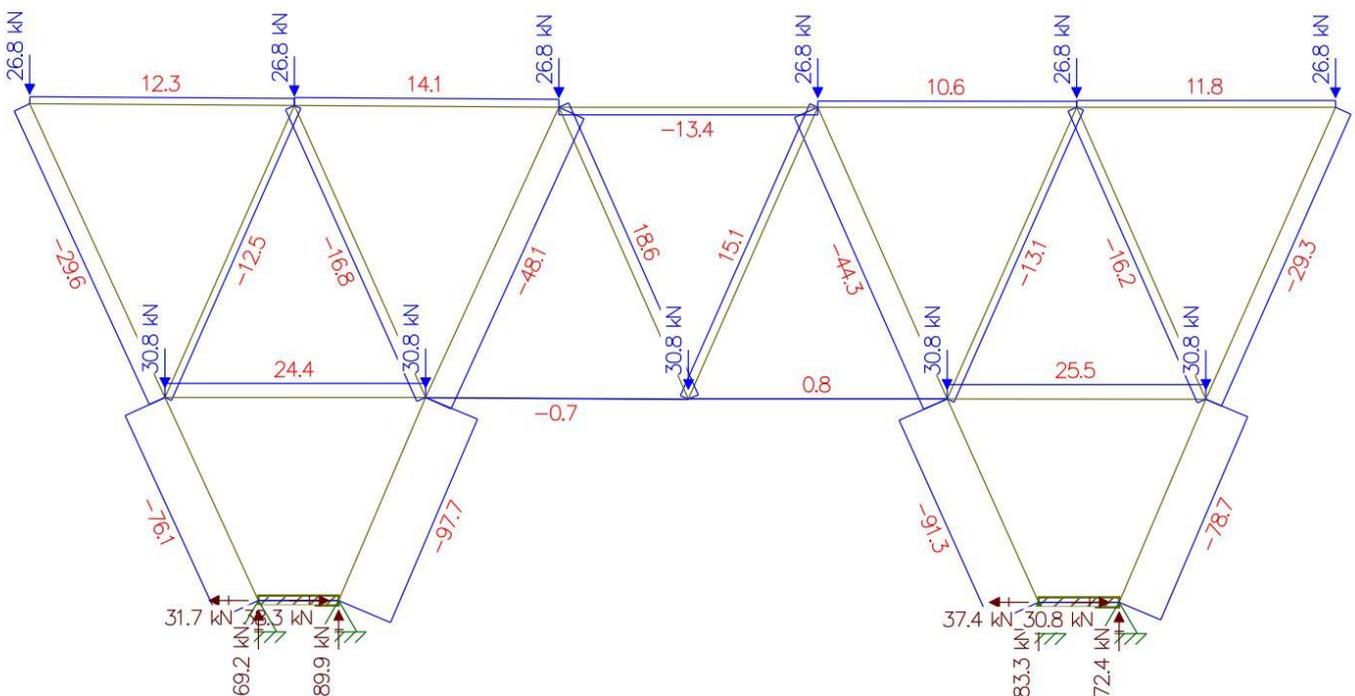
$$\text{SLE} \quad Q = 2,93 + 0,6 \times 4,9 + 6,52 + 2 \times 4,9 = 31,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 5.4 Determinazione delle sollecitazioni negli elementi strutturali

### Situazione più gravosa per la travatura interna



### Situazione più gravosa per la travatura esterna

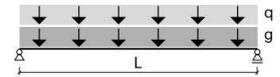


## 5.5 Verifiche dei pannelli X-lam

### STRUTTURA PANNELLI

Tipo	Spess. (mm)	Strati	Struttura pannelli (mm)				Largh. (m)	Lungh. (m)	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	
BSP 60	60	3		20	20	20	2,20-3,20 m	Fino a 20 m	27	
BSP 80	80	3		20	40	20			36	
BSP 90	90	3		30	30	30			41	
BSP 100	100	3		30	40	30			45	
BSP 120	120	3		40	40	40			54	
BSP 100	100	5	20	20	20	20	Nessuna misura modulare	Lunghezza massima consigliata stabilita in base a tipo e orientamento degli strati, e a tecniche di montaggio e trasporto.	45	
BSP 120	120	5	30	20	20	20			30	54
BSP 140	140	5	40	20	20	20			40	63
BSP 160	160	5	40	20	40	20			40	72
BSP 180	180	5	40	30	40	30			40	81
BSP 200	200	5	40	40	40	40			40	90

### A UNA CAMPATA



$g_{1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Lunghezza della campata L								
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m		
1,0	2,0	BSP 90 3s	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss
	3,0	BSP 90 3s	BSP 120 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss
	4,0	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss	BSP 200 7ss
1,5	2,0	BSP 90 3s	BSP 120 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 210 7ss	BSP 210 7ss
	3,0	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 210 7ss	BSP 210 7ss	BSP 210 7ss
	4,0	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 210 7ss	BSP 210 7ss	BSP 210 7ss
2,0	2,0	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss
	3,0	BSP 100 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss
	4,0	BSP 120 3s	BSP 120 3s	BSP 140 5s	BSP 160 5s	BSP 180 5s	BSP 200 5s	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss	BSP 220 7ss

### PROPRIETÀ MECCANICHE SECONDO IL BENESTARE TECNICO EUROPEO ETA-12/0281

Sollecitazione pannelli			Valore numerico
Modulo di elasticità	Parallelo alle fibre delle tavole	$E_{0,mean}$	11.800 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	Normale rispetto alle fibre delle tavole	$E_{90,mean}$	370 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di taglio	Parallelo alle fibre delle tavole	$G_{090,mean}$	690 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di taglio/di scorrimento	Normale rispetto alle fibre delle tavole	$G_{9090,mean}$	50 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla flessione	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{m,k}$	26,4 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla trazione	Normale rispetto alle fibre delle tavole	$f_{t,90,k}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla compressione	Normale rispetto alle fibre delle tavole	$f_{c,90,k}$	2,50 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza al taglio	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{v,090,k}$	4,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza allo scorrimento		$f_{v,k}$	1,75 N/mm <sup>2</sup>

Sollecitazione lastre			Valore numerico
Modulo di elasticità	Parallelo alle fibre delle tavole	$E_{0,mean}$	11.600 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di taglio	Parallelo alle fibre delle tavole	$G_{090,mean}$	250 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla flessione	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{m,k}$	24,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla trazione	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{t,90,k}$	14,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza alla compressione	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{c,90,k}$	21,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza al taglio	Parallelo alle fibre delle tavole	$f_{v,090,k}$	4,0 N/mm <sup>2</sup>

Peso specifico apparente			Valore numerico
Peso specifico apparente caratteristico		$\rho_k$	350 kg/m <sup>3</sup>
Peso specifico apparente medio		$\rho_{mean}$	420 kg/m <sup>3</sup>

Si calcola il carico totale agente sul solaio di abitazione con pannello X-lam 120 mm. Si verifica il pannello inferiore (di abitazione) in quanto maggiormente caricato rispetto al solaio di copertura che presenta stesso pannello strutturale ma un carico leggermente inferiore.

$$q = 1,3 (1,33 + 0,6) + 1,5x (2) = 5,51 \frac{kN}{m^2}$$

Si considera poi il carico per metro lineare:  $q_l = 5,51 \frac{kN}{m^2} \times 2,49 m = 13,72 \frac{kN}{m}$

Momento flettente sollecitante  $M_{FL} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{13,72 \cdot 3,94^2}{8} = 26,62 kN \cdot m$

Taglio sollecitante  $V_{FL} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{13,72 \cdot 3,94}{2} = 27,03 kN$

### 5.5.1 Verifica di resistenza a flessione del pannello X-lam

Pannello Hasslacher Norica Timber, BSP 120, 5 strati : 30, 20, 20, 20 , 30 mm

Resistenza caratteristica a flessione parallela alla direzione delle fibre:  $f_{m,k} = 26,4 \frac{N}{mm^2}$

$$K = E_i \cdot J_i + (A_i \cdot a_i^2 \cdot E_i)$$

$K$  = rigidezza flessionale nella direzione considerata

$J_i$  = è l'inerzia del singolo strato

$E_i = 11\,800 MPa$  è il modulo elastico del singolo strato

$A_i$  = è la superficie del singolo strato nel suo spessore

$a_i$  = è la distanza dal baricentro della sezione per ogni strato

$$K = E_i \cdot J_i + (A_i \cdot a_i^2 \cdot E_i) = [(2 \cdot 11\,800 \cdot 5,6 \cdot 10^6) + (2 \cdot 1,78 \cdot 10^{12})] + [3,91 \cdot 10^{10}] = 3,73 \cdot 10^{12} Nmm^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{K} \frac{h}{2} E_o = \frac{26,62 \times 10^6}{3,73 \times 10^{12}} \frac{120}{2} 11\,800 = 5,05 MPa$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{26,4 \times 0,8}{1,45} = 14,56 MPa$$

$$\sigma_{max} < f_{m,d} \quad 5,05 MPa < 14,56 MPa$$

### 5.5.2 Verifica di resistenza a taglio del pannello X-lam

$$V_{FL} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{13,72 \cdot 3,94}{2} = 27,03 \text{ kN}$$

Le verifiche da condurre sono due, una sulla resistenza a taglio usuale, l'altra a taglio negli strati trasversali, dove la resistenza a taglio è molto ridotta

$$\tau_d \leq f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}; \quad \tau_{r,d} \leq f_{v,r,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,r,k}}{\gamma_M}$$

Con  $f_{v,d}$  la resistenza a taglio per gli strati nella direzione considerata;

Con  $f_{v,r,d}$  la resistenza a taglio per gli strati trasversali alla direzione considerata;

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \times 0,8}{1,45} = 2,21 \text{ MPa}$$

$$f_{v,r,d} = \frac{f_{v,R,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{1,75 \times 0,8}{1,45} = 0,96 \text{ MPa}$$

Il calcolo della tensione tangenziale proviene dalla formula di Jourawski:

$$\tau_d = \frac{V \cdot S}{K \cdot b} \quad \tau_{S,d}(y) = \frac{V \cdot S_i}{k \cdot b} = \frac{V \cdot A_i \cdot a_i \cdot E_i}{k \cdot b}$$

$$K_{tot} = K + (E_{90} \cdot J_i) + (A_i + a_i^2 + E_{90}) = 3,73 \cdot 10^{12} + [(2 \cdot 370 \cdot 1,7 \cdot 10^6) + (2 \cdot 370 \cdot 400 \cdot 49800)] = 3,746 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$S_o = 0$$

$$S_1 = bh \cdot a \cdot E_o = 2490 \cdot 30 \cdot 45 \cdot 11800 = 3,96 \times 10^{10}$$

$$S_2 = S_1 + \frac{bh}{2} \frac{a}{4} E_{90} = 3,96 \times 10^{10} + 2490 \cdot \frac{30}{2} \cdot \frac{45}{4} \cdot 370 = 3,98 \times 10^{10}$$

$$\tau_d = \frac{V \cdot S_1}{k \cdot b} = \frac{27,03 \cdot 10^3 \cdot 3,96 \cdot 10^{10}}{3,746 \cdot 10^{12} \cdot 2490} = 0,115 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r,d} = \frac{V \cdot S_2}{k \cdot b} = \frac{27,03 \cdot 10^3 \cdot 3,98 \cdot 10^{10}}{3,746 \cdot 10^{12} \cdot 2490} = 0,1153 \text{ MPa}$$

Verifico che :

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0,115 < 2,21$$

$$\tau_{r,d} < f_{v,r,d} \quad 0,1153 < 0,96$$

### 5.5.3 Verifica di deformabilità agli SLE

Si deve verificare che la freccia in mezzeria del pannello non superi i limiti imposti dalla normativa, valutando il contributo della deformazione flessionale e il contributo della deformazione tagliante.

$$f_{max} = \frac{5 q l^4}{384 K_{clt}} + \frac{q l^2}{8 S_{clt}} = \frac{5 q 3940^4}{384 \cdot 3,73 \cdot 10^{12}} + \frac{q 3940^2}{8 \cdot 34,2 \cdot 10^6}$$

$$K = 3,73 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \quad \text{Rigidità flessionale parallela alle fibre}$$

$$S_v = k (G \cdot A) = 0,24 (G_i \cdot A_i) = 0,24 (2 bhG_o + 2 bhG_{90} + bhG_o) = \\ = 0,24 (2 \cdot 2490 \cdot 30 \cdot 690 + 2 \cdot 2490 \cdot 20 \cdot 50 + 2490 \cdot 20 \cdot 690) = 34,2 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$f_{rara.ist} < l/500$	Solo accidentali	$Q$
$f_{rara} < l/300$	Rara	$Q + G_1 + G_2$
$f_{lungo T} < l/300$	Quasi permanente	$Q \cdot \psi + G_1 + G_2$

Per il calcolo della freccia a lungo termine si utilizza il metodo semplificato, con  $k_{def} = 0,6$  e il coefficiente  $\psi = 0,3$  per ambienti residenziali.

$$q_1 = 2 \cdot 2,49 = 4,98 \frac{kN}{m}$$

$$f_{rara.ist} = 4,48 < \frac{l}{500} = \frac{3940}{500} = 7,88 \text{ mm}$$

$$q_2 = (2 + 1,33 + 0,6) \cdot 2,49 = 9,78 \frac{kN}{m}$$

$$f_{rara} = 8,78 < \frac{l}{300} = \frac{3940}{300} = 13,13 \text{ mm}$$

$$q_3 = [(1,33 + 0,6) (1 + k_{def}) + 2 (1 + \psi k_{def})] \cdot 2,49 = \\ = [(1,33 + 0,6) (1 + 0,6) + 2 (1 + 0,3 \cdot 0,6)] \cdot 2,49 = 13,56 \frac{kN}{m}$$

$$f_{rara} = 12,18 < \frac{l}{300} = \frac{3940}{300} = 13,13 \text{ mm}$$

## 5.6 Verifica degli elementi della reticolare di parete

### 5.6.1 Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre nei Correnti

$$k_h = \min \left( \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1}; 1,1 \right) = \min (1,07; 1,1)$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{36\,000}{300 \cdot 200} = 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_m} = \frac{19,2 \cdot 0,8 \cdot 1,07}{1,45} = 11,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

### 5.6.2 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre nei Correnti

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{13\,400}{300 \cdot 200} = 0,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,45} = 13,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

### 5.6.3 Verifica di instabilità di colonna per i Correnti compressi

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,975 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{31}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,49$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 0,63$$

$\beta_c = 0,1$  è il coefficiente di imperfezione che assume tale valore per elementi in legno lamellare che rientrano nei limiti di rettilineità

Dove  $l_0$  è la lunghezza libera di inflessione del diagonale doppiamente incernierato

$$l_0 = l = 2,72 \text{ m} \quad \lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{2,72}{0,086} = 31,0$$

E il raggio d'inerzia è pari a:  $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{bh}} = \sqrt{\frac{0,300^2}{12}} = 0,086$

Verifico che:  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,22}{0,975 \cdot 13,24} = 0,01 \leq 1$

#### 5.6.4 Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre nei Diagonali

$$k_h = \min \left( \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1}; 1,1 \right) = \min (1,11; 1,1)$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{18\,600}{200 \cdot 120} = 0,78 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_m} = \frac{19,2 \cdot 0,8 \cdot 1,1}{1,45} = 11,65 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

#### 5.6.5 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre nei Diagonali

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{48\,100}{200 \cdot 120} = 2,004 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,45} = 13,24 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

#### 5.6.6 Verifica di instabilità di colonna nei diagonali compressi

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Dove:

$\sigma_{c,0,d}$  È la tensione di compressione di calcolo per lo sforzo normale

$f_{c,0,d}$  È la resistenza di calcolo a compressione parallela alle fibre, come calcolata in precedenza

$k_{crit,c}$  È il coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna valutato per il piano in cui assume il valore minimo pari a 1 se  $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$  altrimenti:

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,88 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,81$$

$$k = 0.5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 0.85$$

$f_{c,0,k}$  è la resistenza caratteristica a compressione parallela alle fibre

$\sigma_{c,crit}$  è la tensione critica calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici (frattile al 5%)

$\lambda$  è la snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo

$\beta_c = 0.1$  è il coefficiente di imperfezione che assume tale valore per elementi in legno lamellare che rientrano nei limiti di rettilineità

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{2,95}{0.058} = 51$$

Dove  $l_0$  è la lunghezza libera di inflessione del montante doppiamente incernierato

$$l_0 = l = 2,95 \text{ m}$$

E il raggio d'inerzia è pari a: 
$$\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{bh}} = \sqrt{\frac{0.20^2}{12}} = 0.058$$

Verifico che: 
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,004}{0,88 \cdot 13,2} = 0,17 \leq 1$$

## 5.7 Verifiche a caldo R60

E Si procede valutando la velocità di demolizione della sezione lignea causata dalla carbonizzazione. Attraverso la velocità si risale alla sezione efficace ridotta rispetto a quella originaria, considerando un tempo di resistenza al fuoco di R60.

$$V = 0,7 \frac{mm}{min}$$

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0 = 42 + 7 = 49 \text{ mm}$$

-  $d_{ef}$  è la velocità di carbonizzazione convenzionale di progetto, che delimita la sezione trasversale efficace

-  $d_{char} = 0.7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$  è la profondità di carbonizzazione legata alla velocità, superiore alla profondità effettiva per includere l'effetto di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione

-  $k_0 = 1$  è un coefficiente dipendente dal tempo, pari a 1 per tempi maggiori di 20 minuti

-  $d_0 = 7 \text{ mm}$

La generica proprietà di resistenza di progetto è data dalla formula:  $f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot$

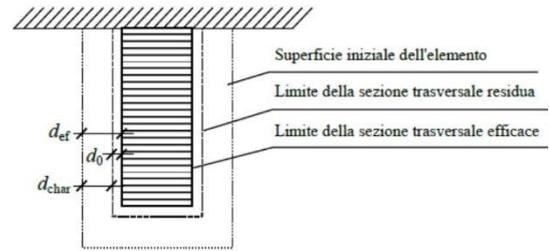
$$k_{fi} \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$f_k$  è il valore caratteristico della generica resistenza

$k_{fi} = 1,15$  è il coefficiente per legno lamellare incollato

$k_{mod,fi}$  è il coefficiente che sostituisce il parametro  $K_{mod}$  a temperatura ambiente

$\gamma_{m,fi}$  è il coefficiente parziale di sicurezza in situazione di incendio



Specie legnosa	VELOCITA' DI PENETRAZIONE DELLA CARBONIZZAZIONE		
	Penetrazione (mm/minuto)		
	Dopo 10'	dopo 20'	dopo 30'
abete rosso	0.68	0.78	0.70
castagno	0.92	0.64	0.78
douglas	0.75	0.70	0.63
larice	0.62	0.58	0.61
pino silvestre	0.53	0.50	0.52
faggio	0.72	0.77	0.69

Nota: Da studi e ricerche condotte dal C.N.R. - Istituto per la tecnologia del legno, di S. Michele all'Adige (TN)

## 5.8 Correnti superiore ed inferiore

La sezione efficace diventa:  $b_{eff} = 200 - 2 \cdot 49 = 102 \text{ mm}$   $h_{eff} = 300 - 2 \cdot 49 = 202 \text{ mm}$

### 5.8.1 Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre

$$k_h = \min(1,07 ; 1,1)$$

$$\sigma_{t,0,fi} = \frac{N}{A_{eff}} = \frac{36\,000}{202 \cdot 102} = 1,74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{t,0,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,fi}} = \frac{1,15 \cdot 19,2 \cdot 1,04}{1} = 22,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{t,0,fi} \leq f_{t,0,fi}$$

### 5.8.2 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre

$$\sigma_{c,0,fi} = \frac{N}{A_{eff}} = \frac{13\,400}{202 \cdot 102} = 0,65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = \frac{1,15 \cdot 24}{1} = 27,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,0,fi} \leq f_{c,0,fi}$$

### 5.8.3 Verifica di instabilità di colonna

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,78 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{62}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,98$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 1,022$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = 62 \quad l_0 = l = 2,72 \text{ m}$$

E il raggio d'inerzia è pari a:  $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b h^3}{12 b h}} = \sqrt{\frac{0,102^2}{12}} = 0,029$

Verifico che:  $\frac{\sigma_{c,0,fi}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,fi}} = \frac{0,65}{0,78 \cdot 27,6} = 0,031 \leq 1$

## 5.9 Diagonali

La sezione efficace diventa:  $b_{eff} = 120 - 1 \cdot 49 = 71 \text{ mm}$   $h_{eff} = 200 - 2 \cdot 49 = 102 \text{ mm}$

### 5.9.1 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre

$$\sigma_{c,0,fi} = \frac{N}{A_{eff}} = \frac{48\,100}{102 \cdot 71} = 6,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = \frac{1,15 \cdot 24}{1} = 27,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{c,0,fi} \leq f_{c,0,fi}$$

### 5.9.2 Verifica di instabilità di colonna

$$\frac{\sigma_{c,0,fi}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,fi}} \leq 1$$

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,36 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{100}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,59$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 1,83$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = 100$$

$$l_0 = l = 2,95 \text{ m}$$

E il raggio d'inerzia è pari a:  $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{bh}} = \sqrt{\frac{0,102^2}{12}} = 0,029$

Verifico che:  $\frac{\sigma_{c,0,fi}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,fi}} = \frac{6,64}{0,36 \cdot 27,6} = 0,66 \leq 1$

### 5.9.3 Verifica di resistenza a trazione parallela alle fibre

$$k_h = \min(1,07 ; 1,1)$$

$$\sigma_{t,0,fi} = \frac{N}{A_{eff}} = \frac{18\,600}{102 \cdot 71} = 2,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{t,0,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,fi}} = \frac{1,15 \cdot 19,2 \cdot 1,07}{1} = 22,96 \frac{N}{mm^2}$$

## 5.10 Verifiche dei puntoni a sostegno delle pareti

Lo sforzo massimo agente sui puntoni nella situazione di trave con due solai afferenti risulta di  $N = 117 \text{ kN}$

Le verifiche si effettuano per una sezione di legno lamellare 200x240

### 5.10.1 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{117\,000}{200 \cdot 220} = 2,65 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,45} = 13,24 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

### 5.10.2 Verifica di instabilità di colonna (per elementi compressi)

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,982 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{28}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,446$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 0,61$$

$\beta_c = 0,1$  è il coefficiente di imperfezione che assume tale valore per elementi in legno lamellare che rientrano nei limiti di rettilineità

Dove  $l_0$  è la lunghezza libera di inflessione del diagonale doppiamente incernierato

$$l_0 = l = 1,83 \text{ m} \quad \lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{1,83}{0,063} = 28,0$$

E il raggio d'inerzia è pari a:  $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{bh}} = \sqrt{\frac{0,220^2}{12}} = 0,063$

Verifico che:  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,65}{0,982 \cdot 13,24} = 0,20 \leq 1$

## 5.11 Verifiche dei puntoni a caldo

La sezione efficace diventa:  $b_{eff} = 200 - 2 \cdot 49 = 102 \text{ mm}$   $h_{eff} = 220 - 2 \cdot 49 = 122 \text{ mm}$

### 5.11.1 Verifica di resistenza a compressione parallela alle fibre

$$\sigma_{c,0,fi} = \frac{N}{A_{eff}} = \frac{117\,000}{102 \cdot 122} = 9,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = \frac{1,15 \cdot 24}{1} = 27,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{c,0,fi} \leq f_{c,0,fi}$$

### 5.11.2 Verifica di instabilità di colonna

$$\frac{\sigma_{c,0,fi}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,fi}} \leq 1$$

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = 0,89 \quad \lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{51}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,81$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) = 0,85$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = 51$$

$$l_0 = l = 1,83 \text{ m}$$

E il raggio d'inerzia è pari a:  $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{bh}} = \sqrt{\frac{0,122^2}{12}} = 0,035$

Verifico che:  $\frac{\sigma_{c,0,fi}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,fi}} = \frac{9,4}{0,89 \cdot 27,6} = 0,38 \leq 1$

## 5.12 Verifica delle Conessioni

### Connessione tra gli elementi interni al modulo parete

#### 5.12.1 Connessione tra i diagonali

Il collegamento viene eseguito mediante 4 viti HBS con preforo: 2 viti HBS 8x160 + 2 viti HBS 8x180

#### 5.12.2 Connessione tra il diagonale e il corrente

Il collegamento viene eseguito mediante un giunto di carpenteria dentato a dente singolo e 4 viti HBS 8x180 con preforo. Nelle verifiche si considera il carico massimo agente sui diagonali della travatura diviso due poiché ogni diagonale lavora in modo accoppiato con il diagonale del modulo adiacente:

$$N = \frac{48,1}{2} = 24,05 \text{ kN} \quad F_1 = N_d \cos(38^\circ) = 20,17 \text{ kN}$$

$$F_2 = N_d \sin(38^\circ) = 13,09 \text{ kN}$$

Resistenza a rottura di elemento ligneo soggetto a forza

inclinata rispetto alla fibratura :  $f_{c,\alpha} = \frac{f_{c,0} f_{c,90}}{f_{c,0} \sin^n \alpha + f_{c,90} \cos^n \alpha}$

$$n = 2$$

$f_{c,0}$  = Resistenza a compressione parallela alla fibratura

$f_{c,90}$  = Resistenza a compressione in direzione perpendicolare alla fibratura

Mentre la resistenza di progetto è:  $f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} > \sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cos \alpha}{bh}$

**Verifica a taglio e trazione ortogonale che provocano lo scalzamento del tallone:**

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{3,5 \cdot 0,8}{1,45} = 1,93 \quad \tau_d = \frac{N_d \cos \alpha}{b v} = \frac{20,17}{200 \cdot 114} = 0,88 < f_{v,d} = 1,93$$

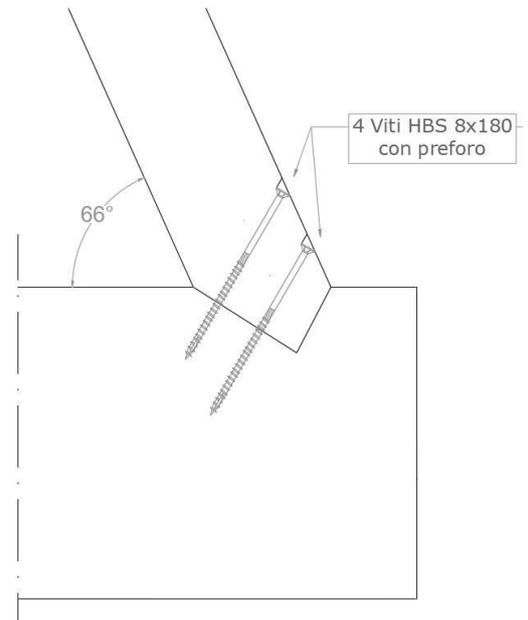
**Verifica a compressione sulla superficie frontale del dente:**

$$f_{c,33^\circ,d} = \frac{13,24}{\frac{13,24}{1,37} \cdot 0,296 + 0,70} = 3,71 \quad \sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{b t} = 1,34 < f_{c,33^\circ,d} = 3,71$$

**Verifica a compressione su superficie posteriore del dente:**

$$d = 0,33 \frac{t}{\sin \beta} = 35,37 \text{ mm} \quad f_{c,54^\circ,d} = \frac{13,24}{\frac{13,24}{1,37} \cdot 0,65 + 0,34} = 1,99 \quad \sigma_{c,d} = \frac{F_2}{b d} = 1,85 <$$

1,99



### 5.12.3 Connessione tra il modulo di parete e il modulo solaio

Il collegamento viene effettuato attraverso l'utilizzo del connettore a scomparsa LOCK-T Rothoblaas

**LOCKT53120      52,5 x 120 x 20mm**

**Viti: 12+12 - Ø5x70**

Il carico che tale elemento deve trasmettere viene così calcolato:

$$q = 1,3 (1,33 + 0,6) + 1,5 (2) = 5,51 \frac{kN}{m^2}$$

Si considera poi il carico per metro lineare:

$$q_l = 5,51 \frac{kN}{m^2} \times 2,49 m = 13,72 \frac{kN}{m}$$

Taglio sollecitante

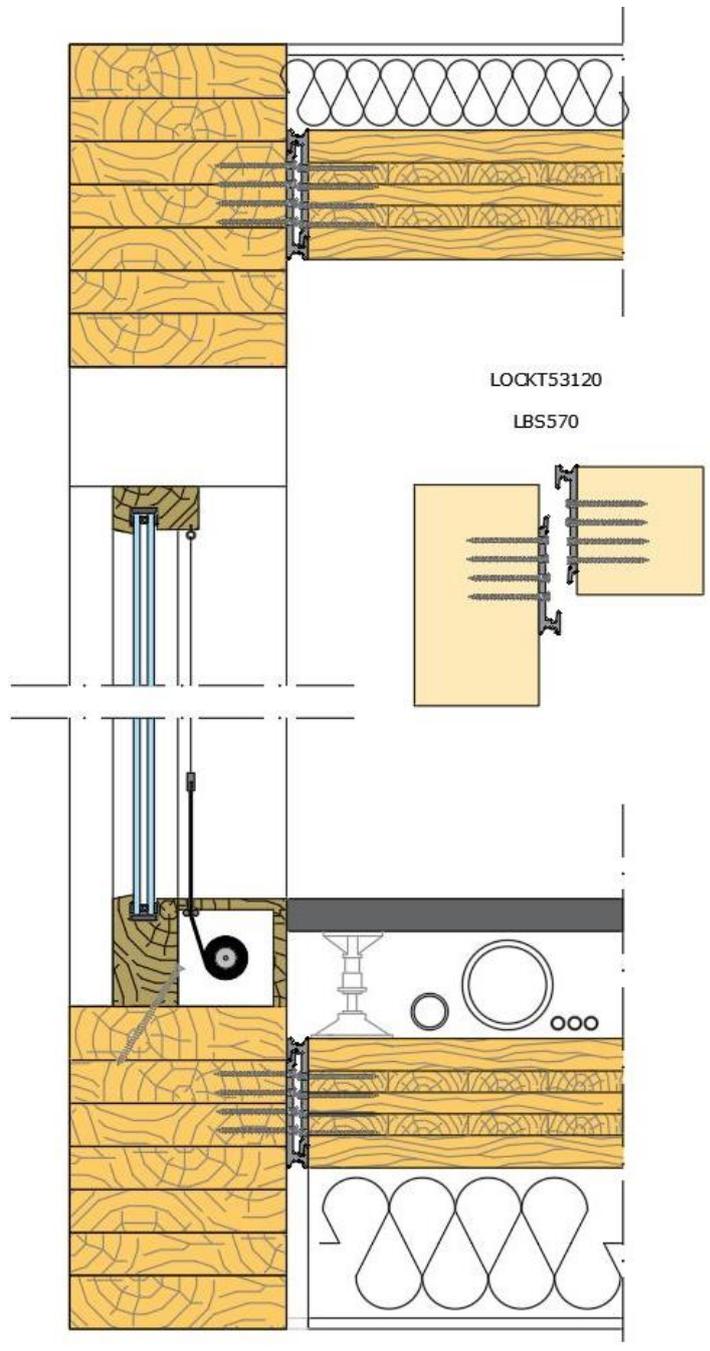
$$V_{FL} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{13,72 \cdot 3,94}{2} = 27,03 \text{ kN} \cdot m$$

Considerando di collocare 4 elementi di connessione per ogni lato di aggancio del solaio, ognuno di essi dovrà sopportare:

$$V = \frac{27,03}{4} = 6,76 \text{ kN} \cdot m$$

La resistenza di progetto risulta:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{17,99 \cdot 0,8}{1,45} = 9,92 \text{ kN} > 6,76 \text{ kN}$$



## 5.12.4 Verifica delle connessioni dei puntoni

### 5.12.5 Verifica di resistenza lato legno

9 Spinotti lisci  $\varnothing 12$  L = 160mm

$\frac{F_{ax,Rk}}{4}$  = effetto "rope" o effetto fune che non viene considerato per spinotti lisci

$f_{h,k}$  = è la resistenza caratteristica a rifollamento dell'elemento in legno

$t_1 = 37,5$  è la lunghezza di inflessione dei connettori

$d = 12$  mm è il diametro del mezzo d'unione

$M_{y,Rk} = 69\ 100$  Nmm è il momento di snervamento caratteristico del mezzo d'unione

La resistenza a rifollamento per azioni parallele alle fibre è:

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 (1 - 0,01 \cdot 12) 385 = 27,78 \frac{N}{mm^2}$$

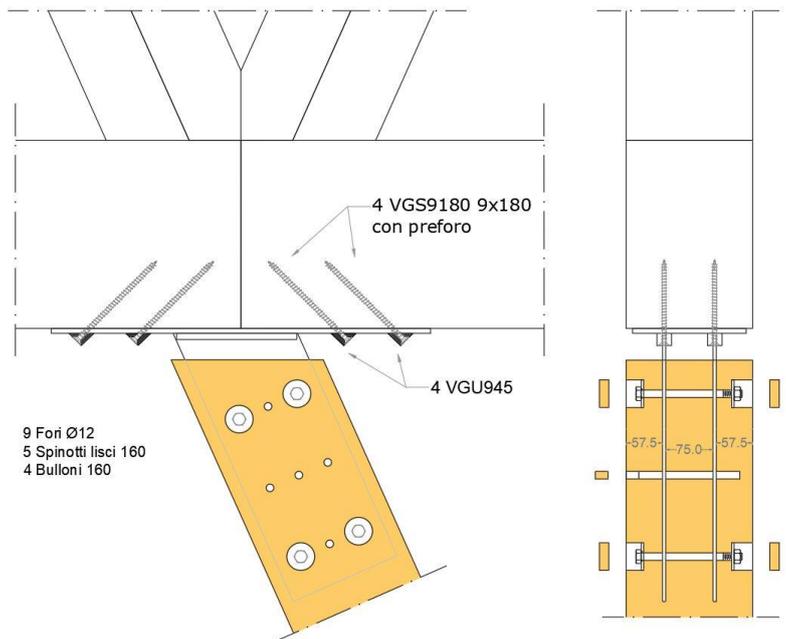
La resistenza caratteristica di ogni sezione resistente di ogni connettore è :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} * f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ * f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left( \sqrt{2 + 4 \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ * 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 27,78 \cdot 37,5 \cdot 12 = 12\ 501\ N \\ 27,78 \cdot 37,5 \cdot 12 \left( \sqrt{2 + 4 \frac{69\ 100}{27,78 \cdot 12 \cdot 37,5^2}} - 1 \right) = 7\ 615\ N \\ 2,3 \sqrt{69\ 100 \cdot 27,78 \cdot 12} = 11\ 039\ N \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 7\ 615\ N \quad R_k = n_c n_{eff} F_{v,Rk} = 4 \cdot 2,52 \cdot 7\ 615 = 76\ 759\ N$$

$n_c = 4$  è il numero dei piani di taglio



$n_{eff} = 2,52$  è il numero efficace di connettori in direzione parallela alle fibre, per  $a_1 = 120 \text{ mm}$

$$R_{d,1 \text{ fila}} = \frac{k_{mod} R_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 76 \cdot 759}{1,5} = 40 \, 938 \text{ N}$$

$$117 \, 000 \text{ N}$$

$$R_d = R_{d,1 \text{ fila}} \cdot 3 = 122 \, 814 \text{ N} >$$

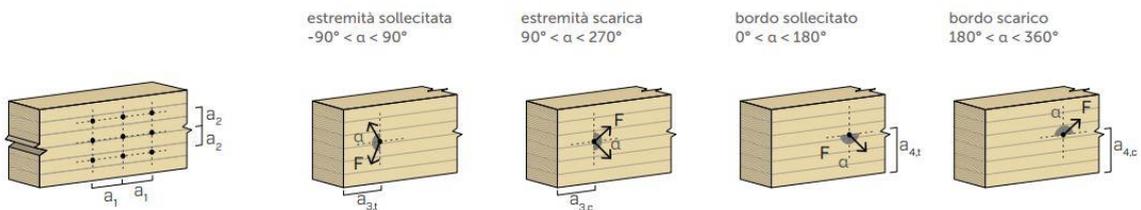
$a_1 = 120 \text{ mm}$      $a_2 = 40 \text{ mm}$      $a_{3c} = 50 \text{ mm}$      $a_{4c} = 40 \text{ mm}$

■ DISTANZE MINIME PER CONNETTORI SOLLECITATI A TAGLIO <sup>[1]</sup>

Angolo tra forza e fibre  $\alpha = 0^\circ$

Angolo tra forza e fibre  $\alpha = 90^\circ$

$d_1$ [mm]	8	12	16	20	8	12	16	20
$a_1$ [mm]	40	60	80	100	24	36	48	60
$a_2$ [mm]	24	36	48	60	24	36	48	60
$a_{3,t}$ [mm]	80	84	112	140	80	84	112	140
$a_{3,c}$ [mm]	40	42	56	70	80	84	112	140
$a_{4,t}$ [mm]	24	36	48	60	32	48	64	80
$a_{4,c}$ [mm]	24	36	48	60	24	36	48	60



### 5.12.6 Verifica a rifollamento della piastra

La resistenza a rifollamento legata al singolo elemento in acciaio è:

$$F_{b,Rd} = \frac{1.5 \cdot t \cdot d \cdot f_{yk}}{\gamma_{mo}} = \frac{1.5 \cdot 5 \cdot 12 \cdot 235}{1.05} = 20\,142\, N$$

Dove:

- $t = 5\, \text{mm}$  è lo spessore dell'elemento connesso
- $d = 12\, \text{mm}$  è il diametro dello spinotto
- $f_{yk} = 235$  è la tensione di snervamento dell'acciaio usato per lo spinotto, come da scheda tecnica
- $\gamma_{mo} = 1.05$  per resistenza delle sezioni classe 1-2-3-4 e all'instabilità delle membranature

La sollecitazione da confrontarsi va ridotta sulla base del numero di lame e di perni:

$$E_d = \frac{E_{d,tot}}{n.lame \cdot n.spinotti} = \frac{117\,000}{2 \cdot 9} = 6\,500\, N$$

$$F_{b,Rd} = 20\,142\, N \geq E_d = 6\,500\, N$$

### 5.12.7 Verifica a taglio del singolo perno

La resistenza a taglio del singolo perno vale:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{tk} \cdot A}{\gamma_{m2}} = \frac{0.6 \cdot 360 \cdot 113}{1.25} = 19\,526\, N$$

Dove:

- $f_{tk} = 360\, \text{MPa}$  è la tensione a rottura del perno
- $A = 113\, \text{mm}^2$  è l'area della sezione del perno
- $\gamma_{m2} = 1.25$  per resistenza di bulloni, chiodi, connessioni a perno

La sollecitazione da confrontare è:

$$E_d = \frac{E_{d,tot}}{n.lame \cdot n.spinotti} = \frac{117\,000}{2 \cdot 9} = 6\,500\, N$$

$$F_{v,Rd} = 19\,526\, N \geq E_d = 6\,500\, N$$

### 5.12.8 Connessione laterale tra i moduli di solaio

Il collegamento viene eseguito attraverso il connettore SLOT della ditta Rothoblaas, inserito in una fresatura nei pannelli e collegato ad essi tramite due viti HBS8140.

Il collegamento tra i solai deve resistere alle sollecitazioni indotte dal vento che sono state calcolate precedentemente: (SLU)  $Q = 35,28 \text{ kN}$

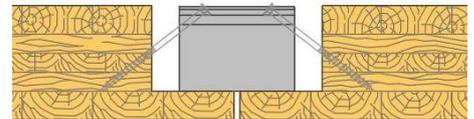
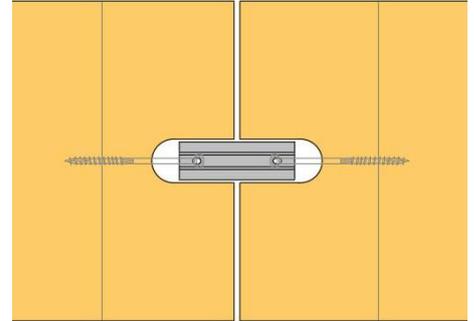
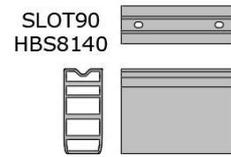
La resistenza caratteristica da scheda tecnica risulta  $f_{v,k} = 34,37 \text{ kN}$

La resistenza di progetto risulta:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{34,37 \cdot 0,8}{1,45} = 18,96 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} \cdot 2 = 18,96 \cdot 3 = 56,88 > 35,28$$

Per ogni collegamento laterale si utilizzeranno 3 SLOT



### 5.12.9 Connessione delle pareti divisorie trasversali

Le pareti vengono collegate ai solai superiore ed inferiore attraverso l'utilizzo del DISC FLAT. Il disco viene fissato alle pareti mentre il bullone viene inserito dall'esterno dell'edificio. Le pareti assumono il ruolo fondamentale di controvento interno, evitando lo scorrimento relativo tra i due solai di abitazione e di copertura. Per questo motivo entrambe le connessioni (superiore ed inferiore) devono resistere alla stessa sollecitazione apportata dal vento.

(SLU)  $Q = 35,28 \text{ kN}$

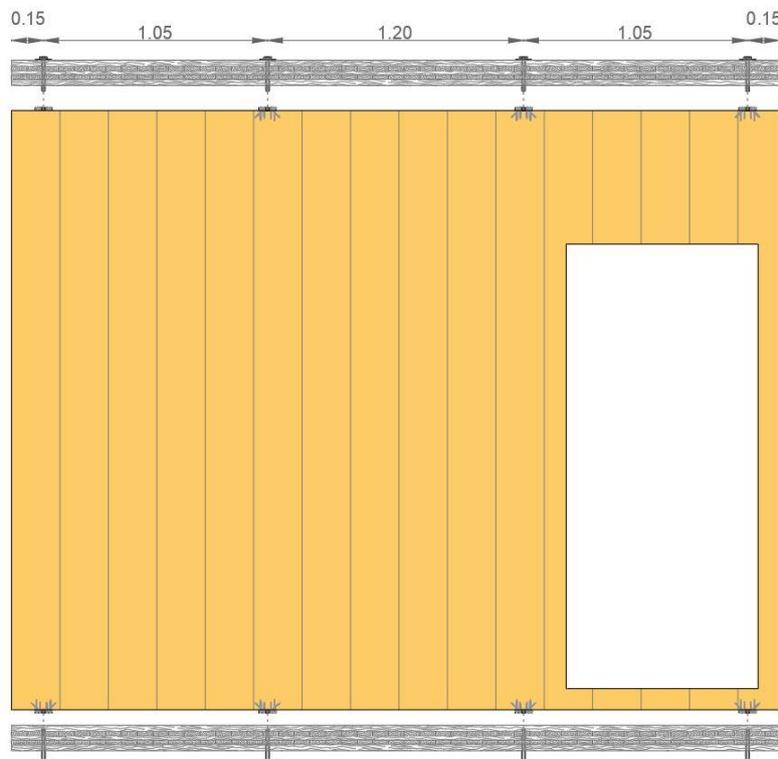
Il prodotto scelto nello specifico è il DISCF80 con viti LBS Ø7 x 60 e bullone Ø16 . La zona di influenza delle viti inclinate misura 120 x 120 mm

La resistenza caratteristica a taglio di questo connettore risulta da scheda tecnica:  $f_{v,k} = 25,7 \text{ kN}$

La resistenza di progetto risulta:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{25,7 \cdot 0,8}{1,45} = 14,18 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} \cdot 3 = 42,54 > 35,28$$



## 5.12.10 Verifica dei tiranti di controvento

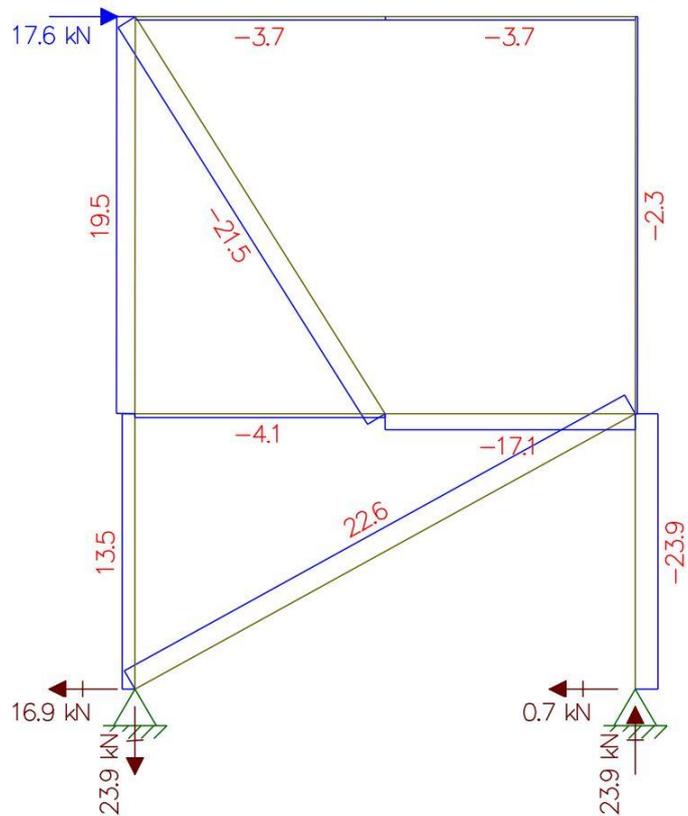
La sollecitazione che i tiranti devono assorbire risulta di  $N = 22,6 \text{ kN}$

Il gancio per controventi ZVBDX20 M20, con spazio libero per piastra da spessore 18mm, presenta una resistenza di:

$$N_{r,d} = \frac{N_{r,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{63,5 \cdot 0,8}{1,45} = 35,03 \text{ kN}$$

Mentre il tenditore ZVBTEN20 M20 presenta una resistenza a trazione:

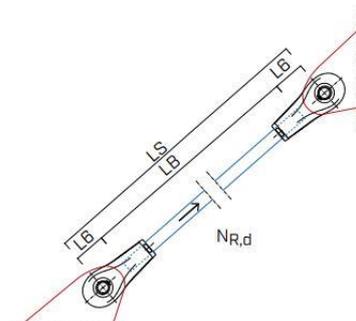
$$N_{ax,d} = \frac{N_{ax,k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = \frac{119 \cdot 0,8}{1,45} = 65,66 \text{ kN}$$



Entrambe le resistenze risultano maggiori della sollecitazione  $N = 22,6 \text{ kN}$

### VALORI STATICI - RESISTENZA A TRAZIONE

$N_{R,d}$  PER DIVERSE COMBINAZIONI BARRA - GANCIO - DISCO - PIASTRA DI COLLEGAMENTO



- Barra
  - Gancio
  - Piastra
- LS = lunghezza del sistema  
LB = lunghezza della barra = LS - 2 · L6

gancio per controventi Rothoblaas	disco per controventi Rothoblaas	acciaio barra $f_{y,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	acciaio piastra di collegamento *	$N_{R,d}$ [kN]					
				M10	M12	M16	M20	M24	M30
GJS-400-18-LT	S355	≥ 540	S355	30,1	43,7	81,4	127,0	183,0	290,8
		≥ 540	S235	25,6	38,5	76,9	110,5	147,3	230,1
		≥ 355	S235	19,6	28,5	53,1	82,9	119,5	189,8
		≥ 235	S235	15,0	21,9	40,7	63,5	91,5	144,6

### 5.12.11 Verifica a compressione ortogonale alla fibratura tra diagonali e il corrente

$$\sigma_{c,90d} = \frac{F_{c,90,d}}{b \cdot l_{ef}} = \frac{24\,050\,N}{200\,mm \cdot 90\,mm} = 1,34\,MPa$$

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,45} = 1,37\,MPa$$

$$\sigma_{c,90d} < f_{c,90d}$$

$$1,34 < 1,37$$

## 6 Conclusioni

Dai primi capitoli dell'elaborato si comprende la situazione drammatica che investe la terra, non tanto per il futuro del pianeta ma piuttosto per le condizioni che oggi permettono la nostra vita su di esso. Gli effetti dei cambiamenti indotti dalle azioni dell'uomo sono già visibili e riscontrabili, ma il grave problema è la mancanza di una reazione drastica da parte della popolazione e delle istituzioni. Le nazioni ricche si stanno occupando lentamente di queste problematiche e dell'attuazione di una transizione ecologica, mentre i molti paesi in via di sviluppo ritengono giusto spendere la loro quota di emissioni di anidride carbonica in atmosfera, come i paesi più sviluppati hanno fatto nel corso dei due secoli precedenti. In questa situazione le azioni e le vie da intraprendere sono molteplici, è necessario infatti mettere in discussione tutto il nostro stile di vita e sviluppare in modo sostenibile ogni settore dell'economia. Le priorità attuali sono legate principalmente alle modalità di produzione di energia elettrica, alla creazione di un'economia circolare e alla riduzione dei consumi degli edifici mediante interventi di ammodernamento. Sicuramente è necessario trasformare le nostre abitudini e le nostre tecnologie, ma ad oggi bisogna anche intervenire nella riduzione e nello stoccaggio dell'anidride carbonica. Negli ultimi decenni è stata cambiata in modo netto l'attenzione verso le foreste e il ruolo della vegetazione tanto che a livello mondiale la perdita netta di aree forestali è in calo. Come riporta Stefano Mancuso dovremmo però piantare circa mille miliardi di alberi per ritornare lentamente a livelli di CO<sub>2</sub> simili a quelli precedenti alle rivoluzioni industriali. Non solo da questi dati si comprende l'estrema dipendenza delle nostre vite dalla vegetazione, ma anche dallo studio della nostra evoluzione e della relazione chimico-fisica tra il nostro corpo e le piante. Da un lato è necessario progettare tecniche per portare la natura all'interno delle città, ma dall'altro è necessario invertire la priorità di occupazione del suolo tra le costruzioni dell'umanità e le foreste.

Il progetto proposto in questo elaborato non vuole essere un'idea da conservare nel cassetto, ma intende essere l'inizio di un percorso professionale e critico, nella visione che l'abilità degli esseri umani possa e debba creare soluzioni per vivere dentro i boschi. Proprio per questo motivo l'ideazione progettuale si è concentrata nella formulazione di un sistema costruttivo, per riflettere sulla modalità dell'abitare e del costruire, piuttosto che spendersi in una progettazione fine a sé stessa. Il sistema proposto appare funzionante sia a livello intuitivo che a livello logico, e gli elementi strutturali risultano verificati nell'ambito statico. All'interno dell'iter di progetto sono state prese in considerazione molte alternative poi scartate che avrebbero potuto aprire scenari differenti e portare all'elaborazione di un progetto diverso. In questa ottica si ritiene importante non accantonare questo lavoro, ma svilupparlo mettendo anche in discussione le scelte effettuate. In futuro sarebbe molto interessante portare avanti questo tipo ricerca lavorando insieme a competenze differenti, in ambito impiantistico e infrastrutturale, al fine di ridurre gli impatti ambientali e le problematiche legate al progetto. Infine, l'elaborato si presta ad essere approfondito e sviluppato da altri lavori di tesi riguardo alle tematiche della copertura, dell'isolamento termico e del rivestimento esterno a protezione della struttura lignea.



## 7 Bibliografia

### **Ambiente**

[https://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente\\_%28Universo-del-Corpo%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente_%28Universo-del-Corpo%29/)

<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/our-built-and-natural-environments.pdf>

Ecosystems and human well-being, Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment

### **Ambiente naturale**

<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-ambientale/descrizione/inquinamento-acque>

<https://annalsofglobalhealth.org/article/10.5334/aogh.2831/#:~:text=With%20climate%20change%20and%20increasing,injustice%20on%20a%20planetary%20scale.>

<https://www.wwf.ch/it/i-nostri-obbiettivi/inquinamento-dei-mari>

[https://www.wwf.it/plastica\\_nel\\_mediterraneo/](https://www.wwf.it/plastica_nel_mediterraneo/)

Global Forest Resources Assessment 2020, *Main report*, FAO, United Nations

I Boschi Italiani, Numeri, strategie e filiera, FederLegnoArredo

### **Urbanizzazione e consumo di Suolo**

2018 Revision of World Urbanization Prospects, United Nations

Rapporti ISPRA, Consumo di suolo 2016

C18, Istat, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011

Rapporti ISPRA, Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Edizione 2018

Santamouris, 2001; Zhang et al., 2014

Report di Sistema, SNPA 15 2020, Consumo di suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici

[https://territorio.regione.emilia-romagna.it/codice-territorio/materiali/Leprincipaliinnovazion.pdf/@ @download/file/Le%20principali%20innovazione.pdf](https://territorio.regione.emilia-romagna.it/codice-territorio/materiali/Leprincipaliinnovazion.pdf/@@download/file/Le%20principali%20innovazione.pdf)

### **Degrado del suolo e desertificazione**

<https://dizionari.repubblica.it/Italiano/D/desertificazione.html>

<https://www.treccani.it/enciclopedia/desertificazione/>

Ecosystems and human well-being. Desertification synthesis, Millennium Ecosystem assessment

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/scopri-di-piu/scopri-desertificazione>

Sustainable Agriculture and soil conservation SoCo 2007-2009

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/IT%20Fact%20Sheet.pdf>

Associazione Italiana Agricoltura Biologica, <https://aiab.it/come-si-coltiva-biologico/>

### **Sostenibilità**

<https://treccani.it/enciclopedia/sostenibilita/>

Tesi di Laurea Magistrale: *“L’uso del Bio-char per calcestruzzi sostenibili e durevoli”*, Isabella Cosentino, Politecnico di Torino

Climate Change 2014 Synthesis Report, AR5, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),

<https://www.worldgbc.org/green-building-sustainable-development-goals>

C18, Istat, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011

World GBC annual report 2020

<https://t2d.it/news/gli-edifici-nzeb-normative-caratteristiche-e-le-novita-del-2021/>

Analisi del ciclo di vita LCA, Gian Luca Baldo, Massimo Marino, Stefano Rossi, Edizioni Ambiente

<https://ourworldindata.org/co2-emissions>

<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>

[https://www.treccani.it/enciclopedia/effetto-serra\\_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/effetto-serra_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/)

<https://ourworldindata.org/renewable-energy>

2020 Global Status report for buildings and construction, Global alliance fo Buildings and Costruction, UNEP

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

Sviluppo e diffusione delle fonti rinnovabili di energia in Italia e in Europa – Anno 2019 – GSE

Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni, Ance, Gennaio 2019

“Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings”, Wood Technology Institute of Poznan, Poland, 2013

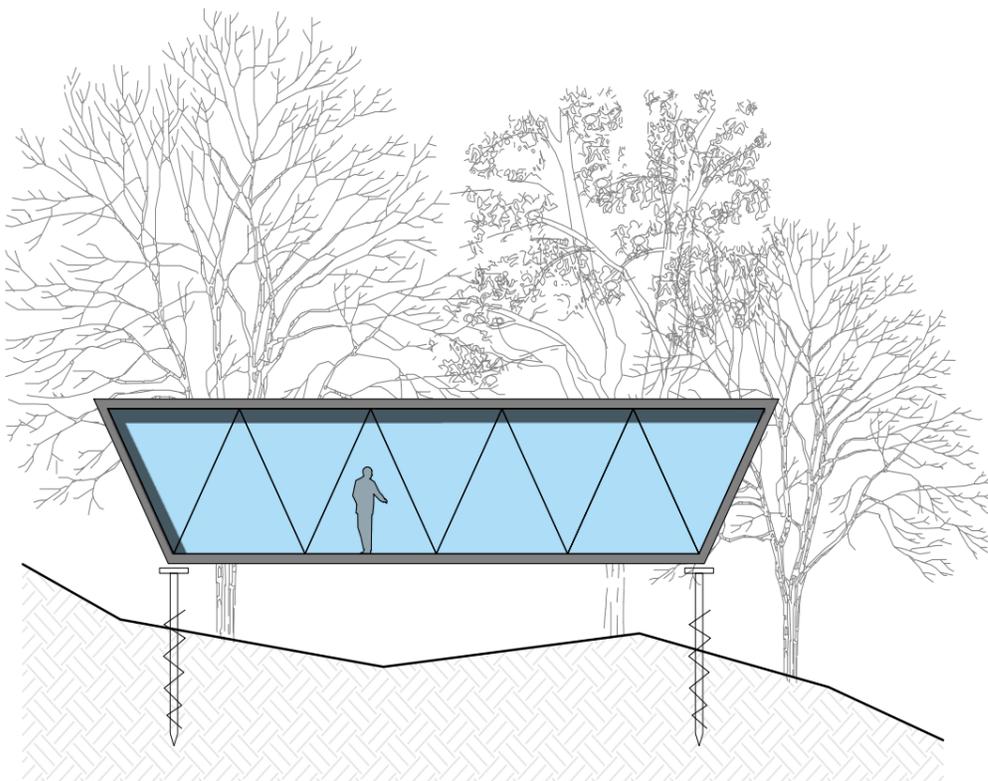
NZ Wood Design Guide, Timber, carbon and environment, chapter 2.1 March 2020”, WPMA



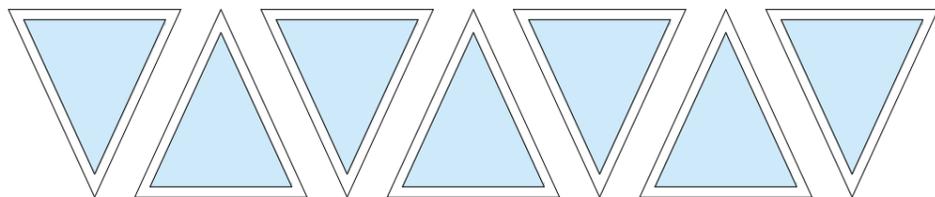


## Il sistema costruttivo

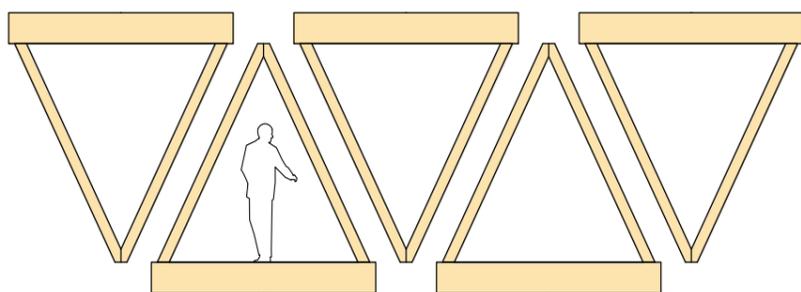
L'obiettivo di minimo impatto sul suolo ha condotto all'adozione del concetto di travatura reticolare applicato alle pareti dell'edificio. L'idea consiste nel creare un sistema strutturale rigido, in grado di scaricare il proprio peso verso il terreno in pochi punti distanti tra di loro. Il sistema costruttivo si basa quindi su una serie di travature alte 3 metri alle quali si appoggiano i solai.



Data la ridotta accessibilità ai contesti boschivi, risulta necessario declinare il concetto di travatura reticolare in un insieme di moduli semplici da trasportare e da movimentare. Di conseguenza l'adozione della reticolare ha indirizzato anche le scelte legate alla forma del modulo.

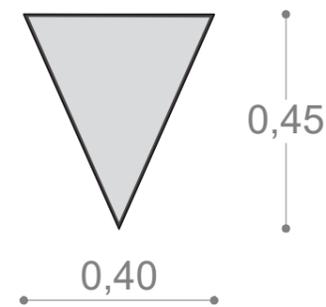


La tecnologia della travatura reticolare si compone di due elementi orizzontali allineati ai solai e da elementi inclinati in mezzo ai quali si creano dei vuoti che possono essere completati con pareti di tamponamento vetrate, permettendo una ampia permeabilità visiva tra interno ed esterno.



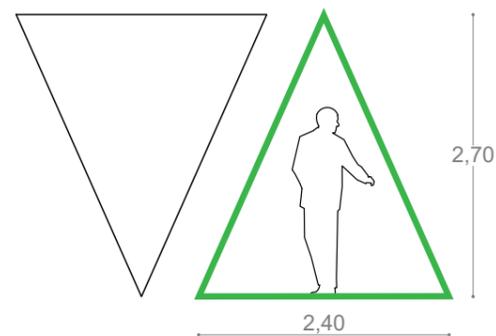
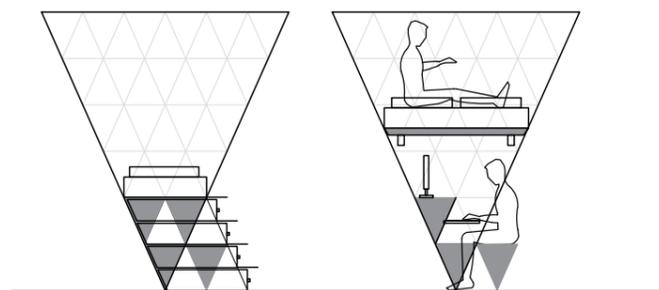
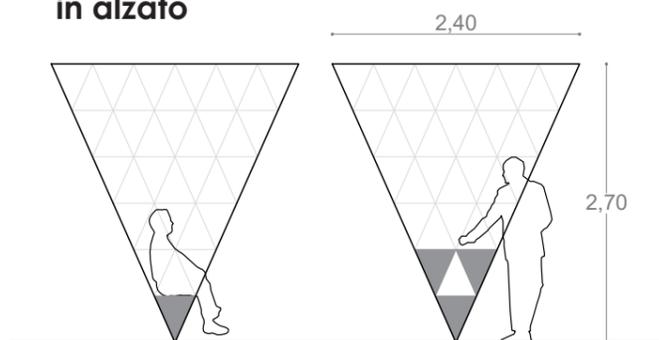
Al fine di individuare le dimensioni finali dei moduli del sistema costruttivo si sceglie di basare la ricerca su una griglia modulare, generata da una forma coerente con la travatura reticolare di tipo Neville, un triangolo isoscele con la base di 40cm e l'altezza di 45cm, in quanto misure compatibili con gli ingombri del corpo umano e degli elementi più comuni di arredo. Questa specificità viene ricercata sia in prospettiva che in pianta come si osserva negli schemi qui riportati.

Modulo base della griglia

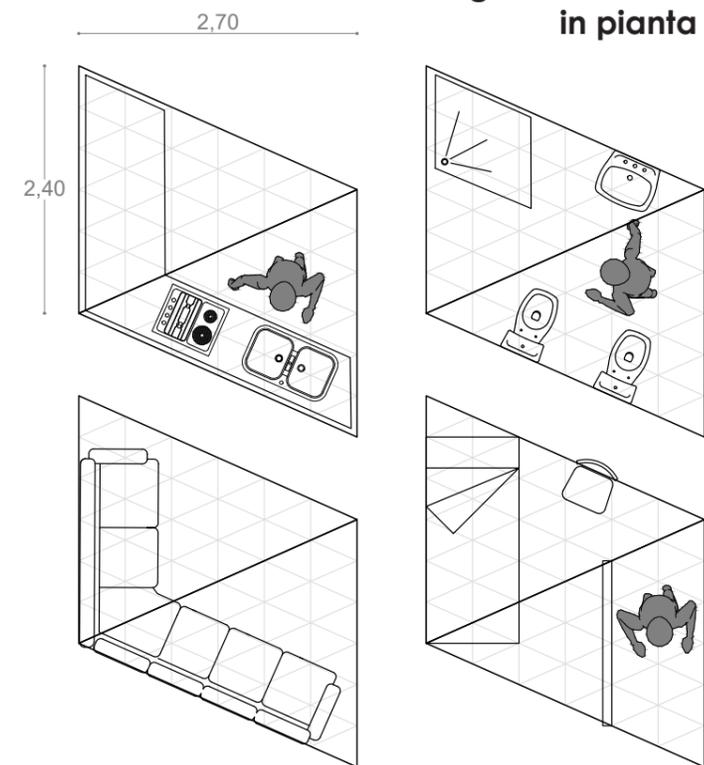


Considerando 6 strati di moduli in formazione piramidale si ottiene la forma del modulo di parete, le misure risultano di 2,40 m alla base e 2,70 m in altezza. Da questo primo risultato, si è avviato il processo di ideazione dei moduli di solaio. La prima ipotesi ha visto il tentativo di utilizzare il modulo di parete anche per la zona dei solai. L'idea prevedeva che ad ogni modulo verticale fosse collegato un modulo orizzontale in modo da farne coincidere le basi.

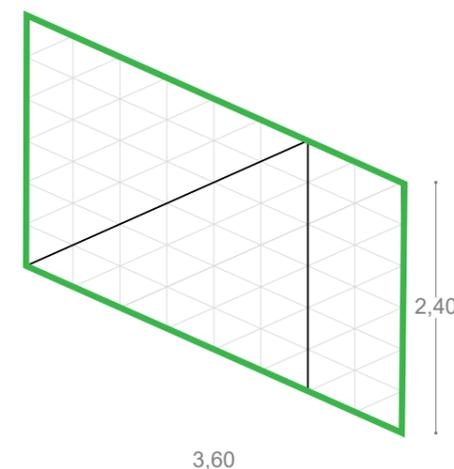
Griglia modulare in alzato



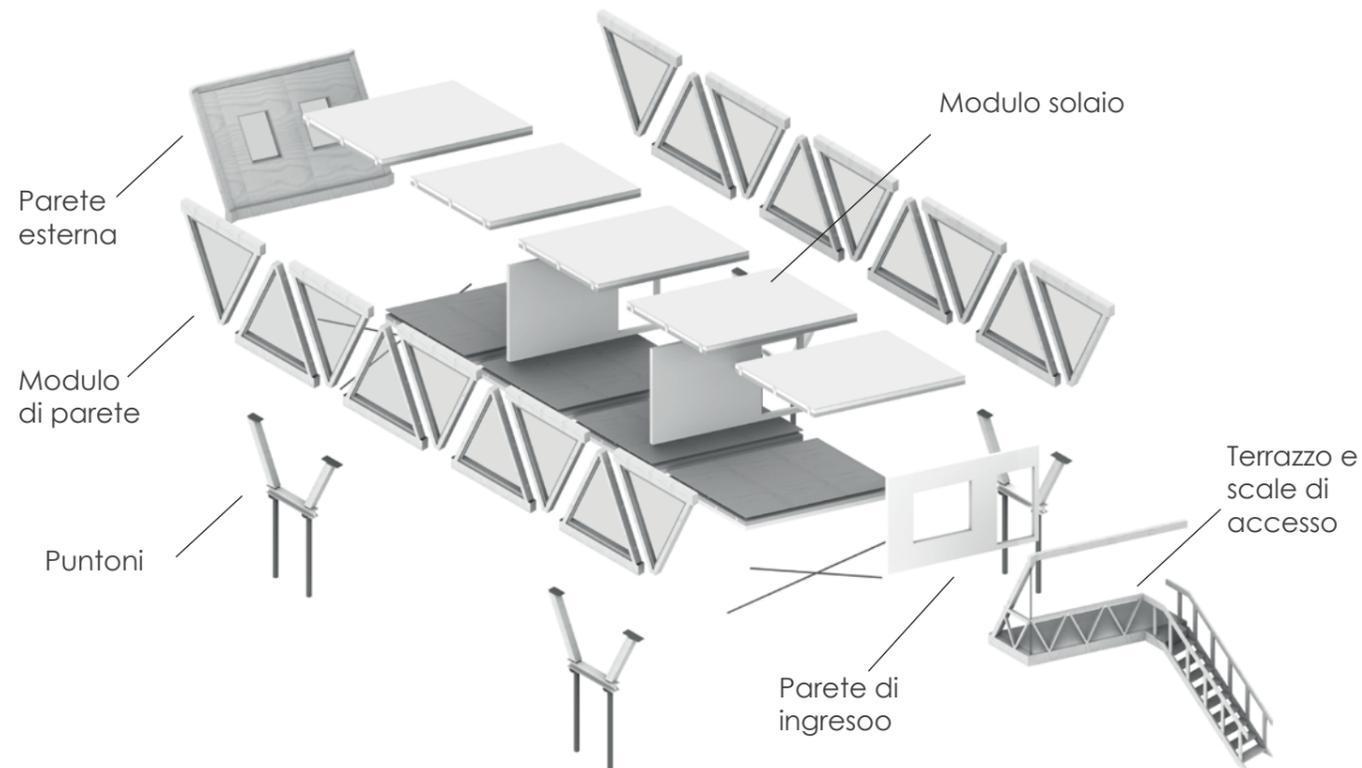
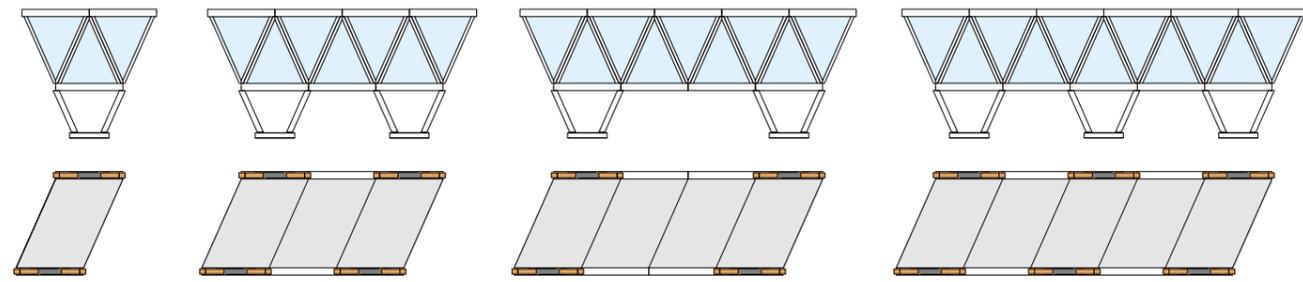
Griglia modulare in pianta



Poichè la prima ipotesi si rivela poco flessibile, l'unità base evidenziata in precedenza, composta da due moduli parete ruotati di 180° tra di loro, viene implementata con due livelli di moduli, a formare un parallelogramma con i lati corti corrispondenti alla base del modulo parete e la distanza fra questi pari a 3,60 m.

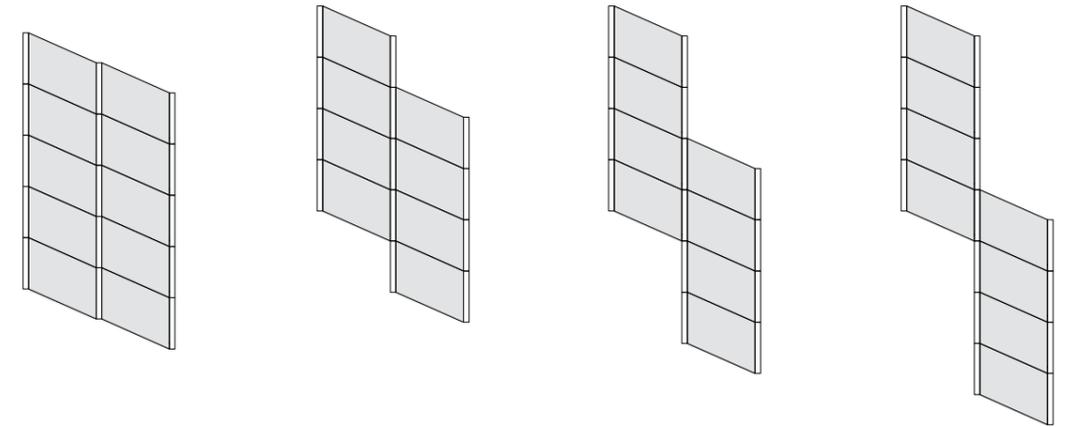
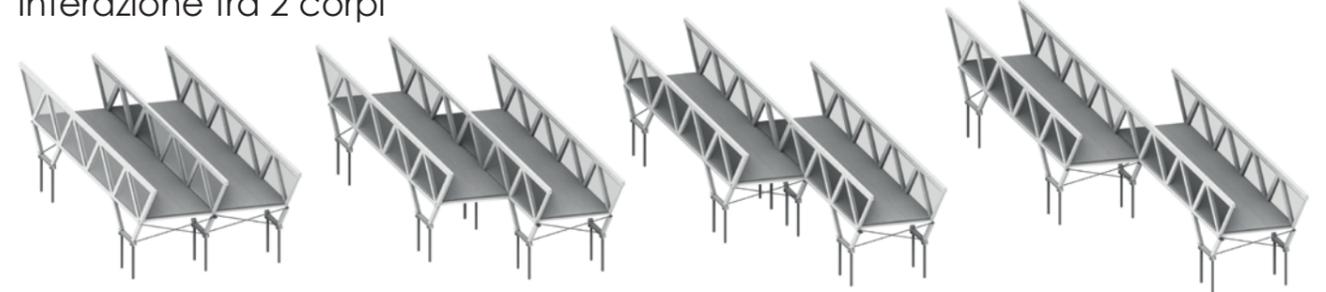


## Composizione di un corpo allungato

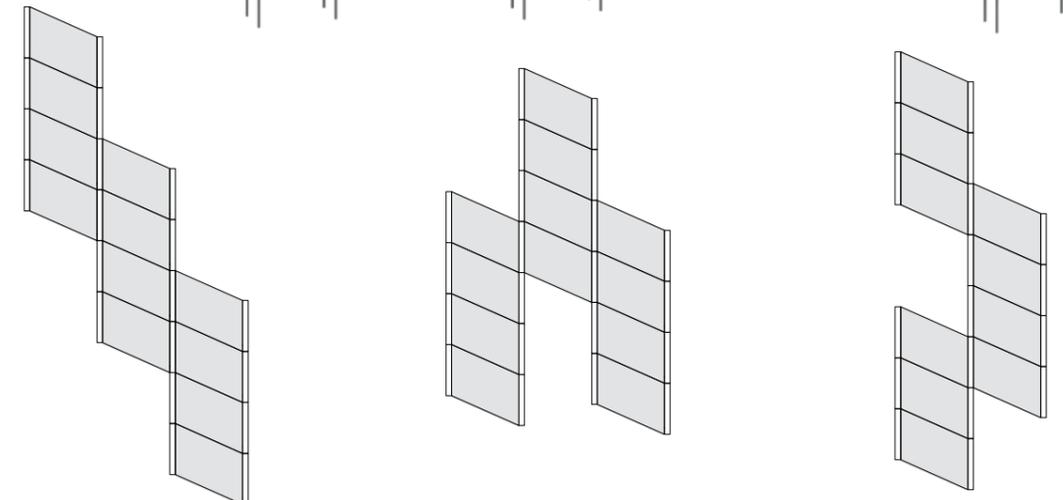
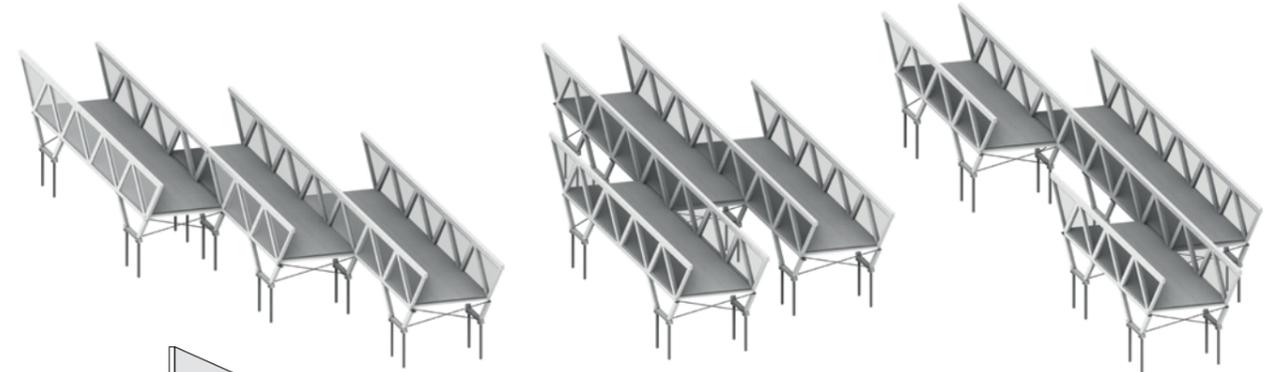


## Aggregazione di corpi allungati

Interazione tra 2 corpi



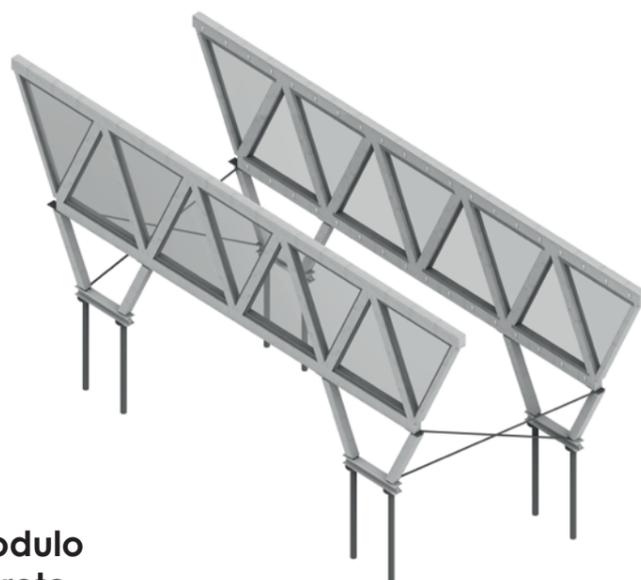
Interazione tra 3 corpi





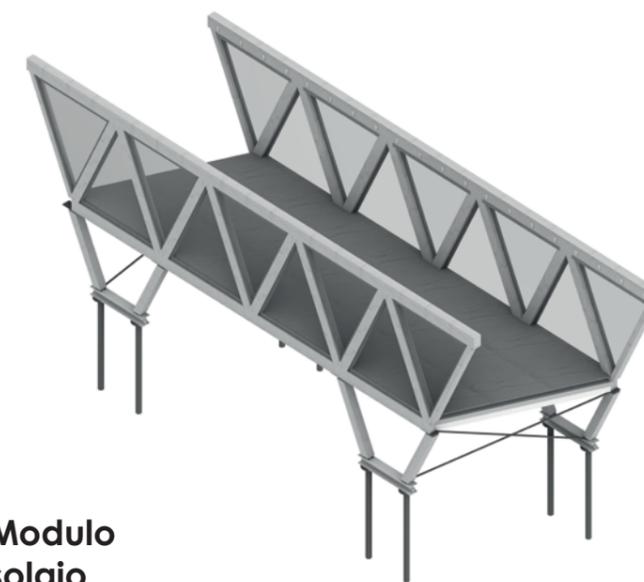
### Modulo di fondazione

Nella prima immagine si osservano i micropali di fondazione, ai quali viene connessa in sommità una trave HeB di acciaio e sopra ad essa gli elementi inclinati (PUNTONI) che trasmettono il carico dalle pareti ai pali di fondazione. Questi elementi sono controventati da due tiranti metallici per garantire la loro stabilità in senso trasversale.



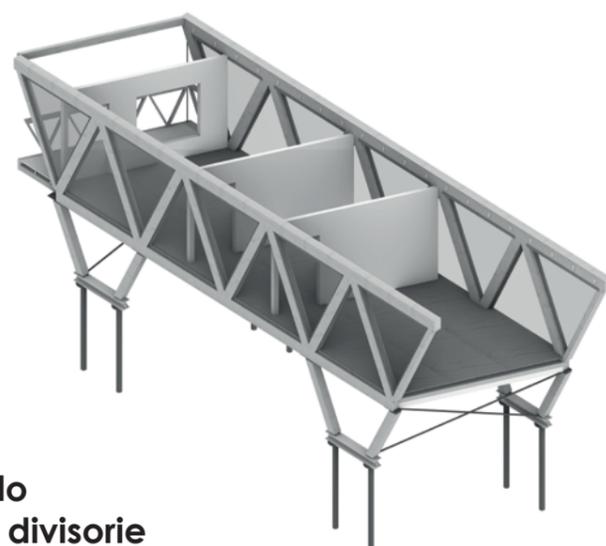
### Modulo parete

La seconda fase prevede l'installazione delle travi reticolari ovvero le pareti longitudinali dell'edificio. Il carico verticale che agisce sui solai viene trasmesso alle pareti, che a loro volta lo indirizzano al terreno in pochi punti isolati. I moduli di parete si dividono in due tipologie: quelli con la base verso il basso e quelli con la base verso l'alto.



### Modulo solaio

La terza fase di montaggio consiste nell'inserimento dei solai inferiori che avviene dall'alto verso il basso. Questi moduli a forma di rettangolo presentano uno spessore di quaranta centimetri, al cui interno sono presenti un pavimento flottante con un vano impianti, il pannello portante di X-Lam e uno strato di isolante.



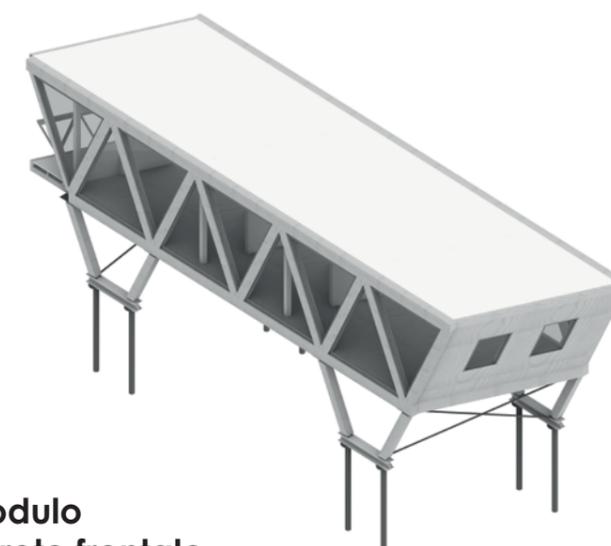
### Modulo pareti divisorie

La quarta fase prevede la collocazione degli elementi trasversali come le pareti interne divisorie o le chiusure esterne. Queste ultime sono sempre pareti trasversali che seguono il profilo inclinato dei solai ma vi sono due tipologie. La prima tipologia di parete esterna è la parete di ingresso, rettilinea verso l'alto, provvista di porta e di finestra.



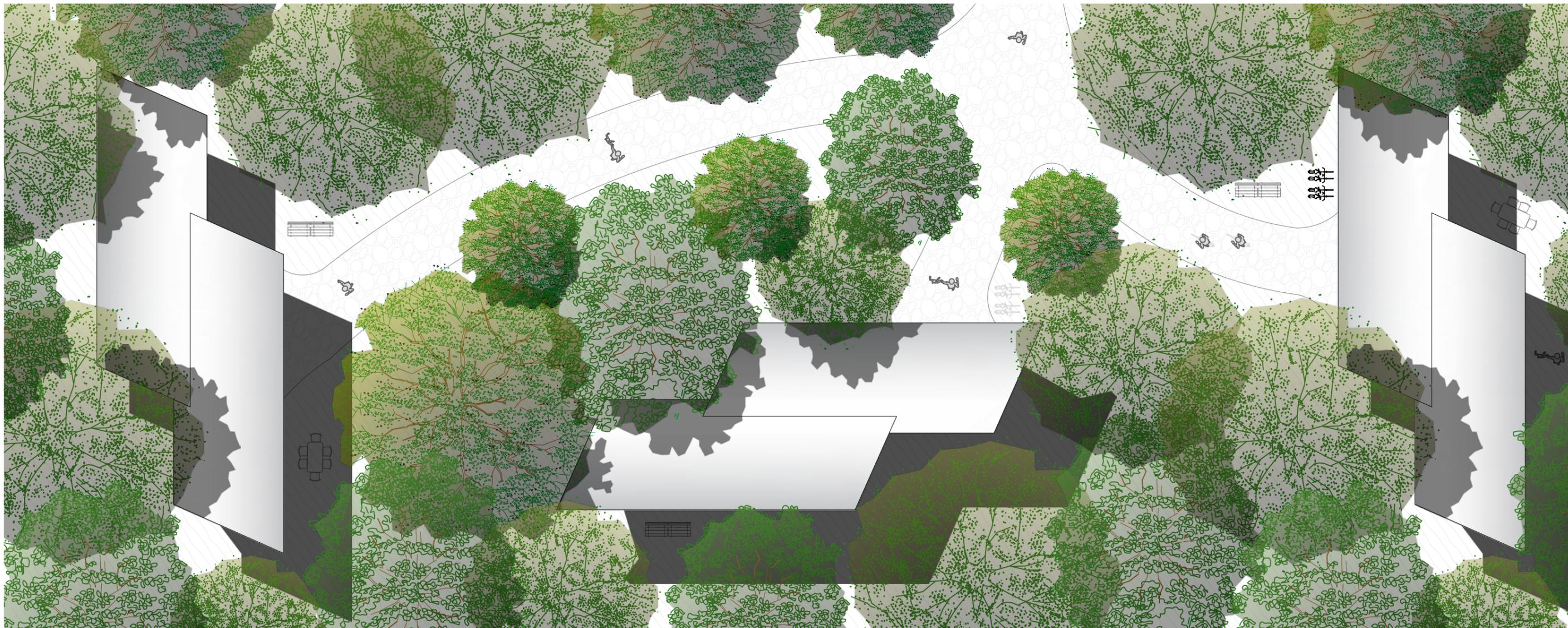
### Modulo solaio di copertura

Una volta collocate le pareti trasversali, si procede all'installazione dei solai di copertura. Questi hanno le medesime dimensioni dei solai di abitazione ma presentano una diversa stratificazione. All'interno dello spessore di venti centimetri, sono presenti solo il pannello portante di X-Lam protetto superiormente da uno strato di isolante termico.

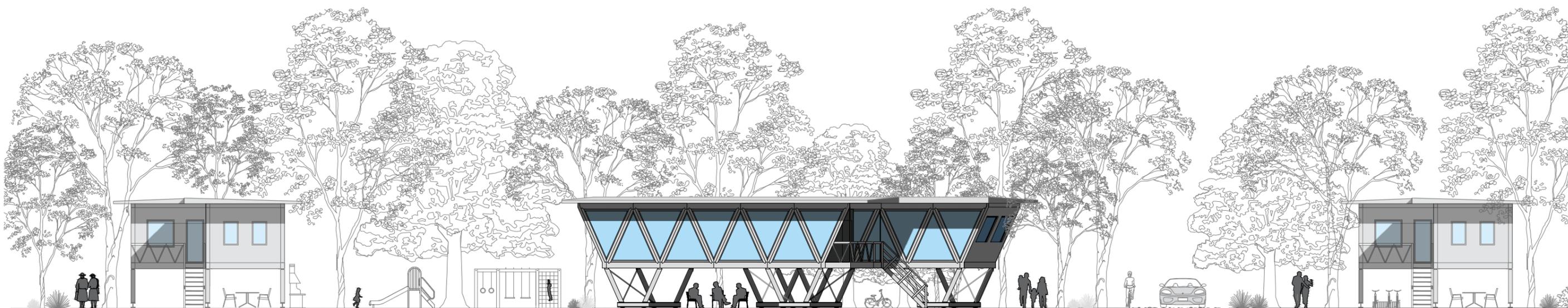


### Modulo parete frontale

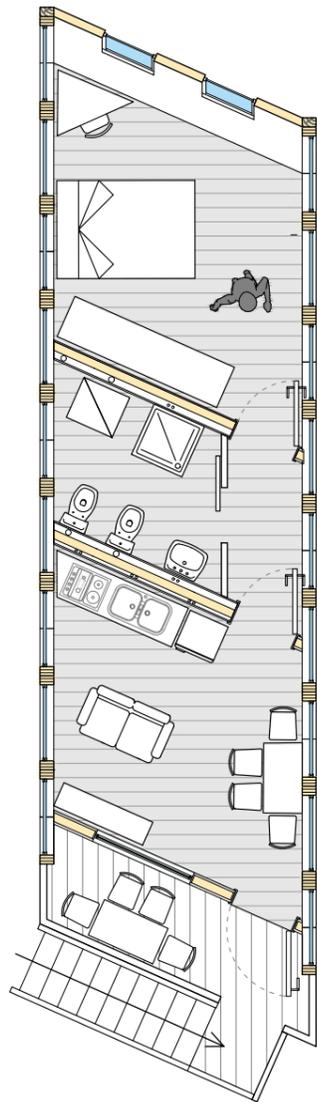
La seconda tipologia di chiusura esterna è la parete frontale. Tutte le pareti trasversali ma questa in modo particolare fungono da controventamento trasversale, necessario per evitare che in presenza di sollecitazioni indotte dal sisma o dall'azione del vento, il solaio inferiore e quello superiore scorrano in modo relativo tra di loro.



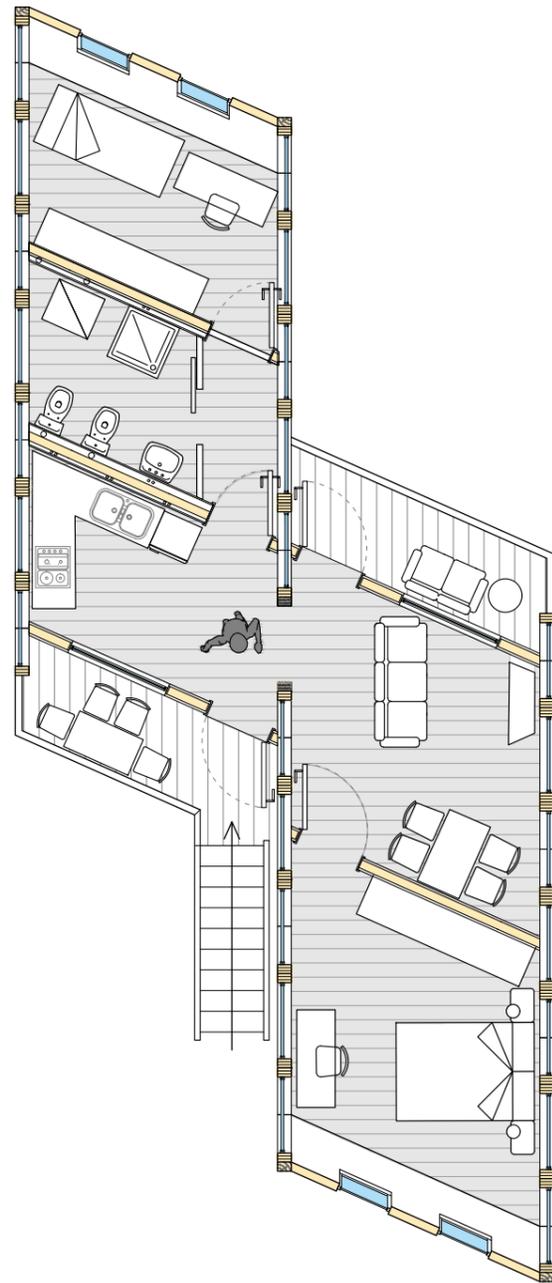
Planivolumetrico 1 : 200



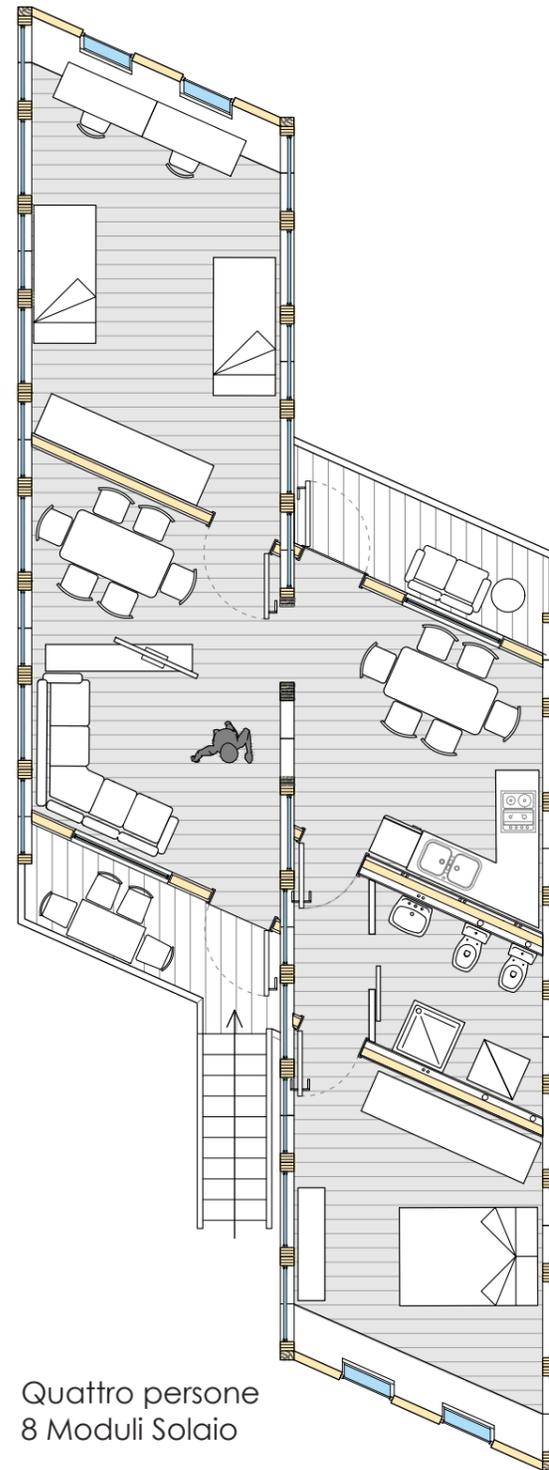
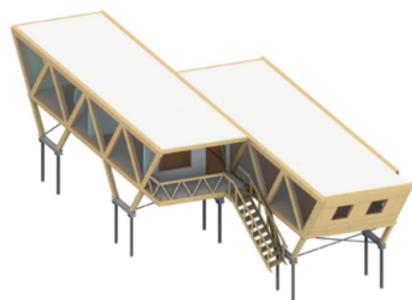
Prospetto area 1 : 200



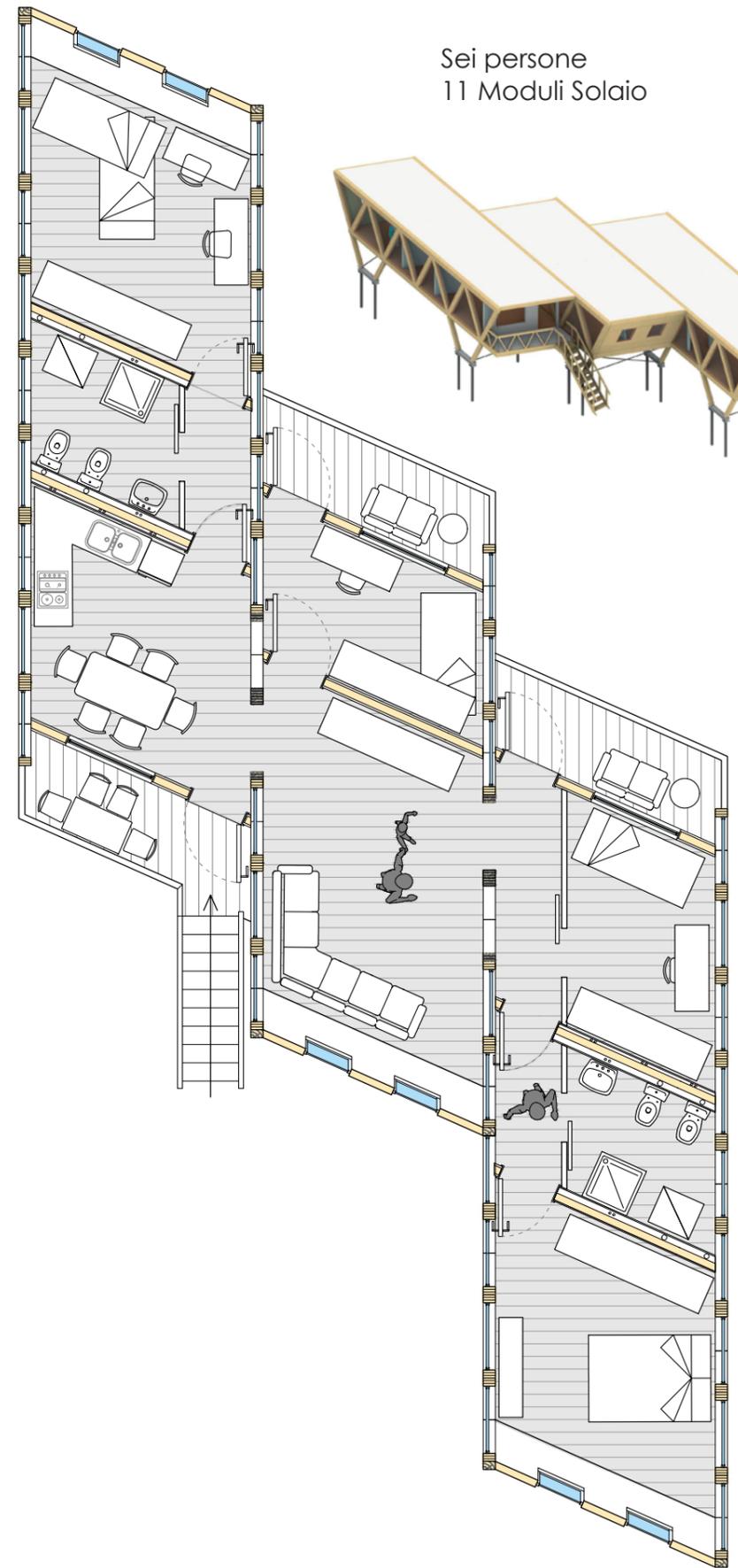
Due persone  
4 Moduli Solaio



Tre persone  
6 Moduli Solaio



Quattro persone  
8 Moduli Solaio



Sei persone  
11 Moduli Solaio

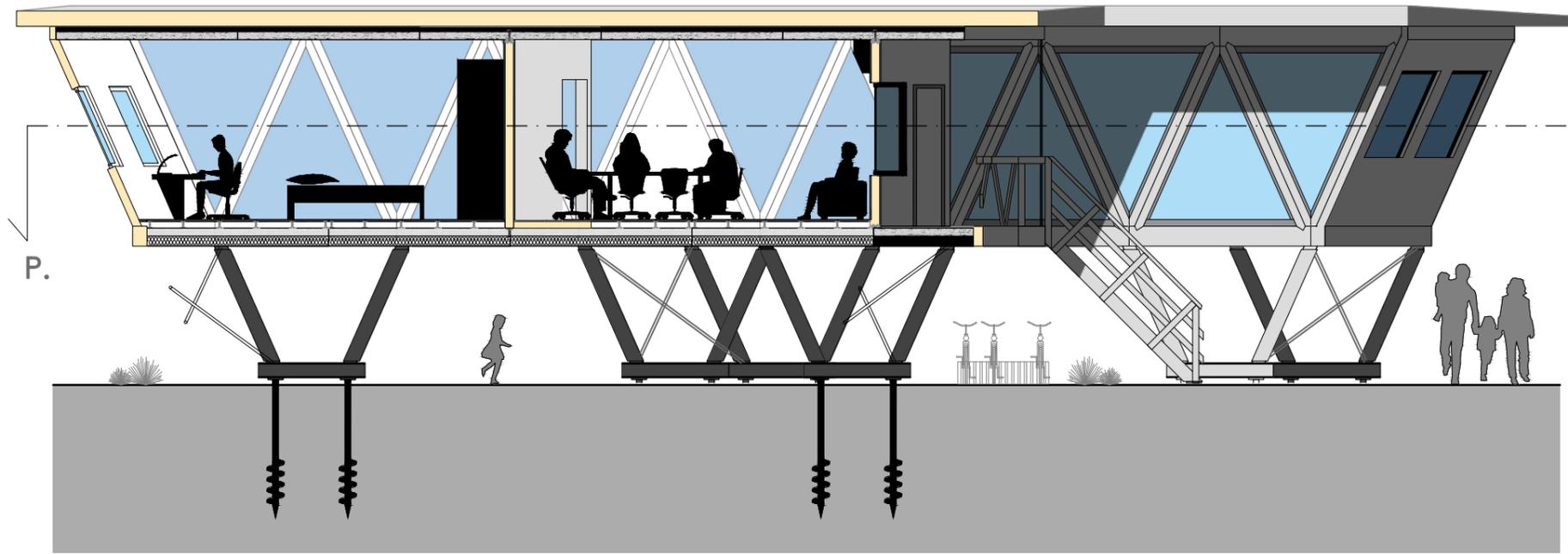




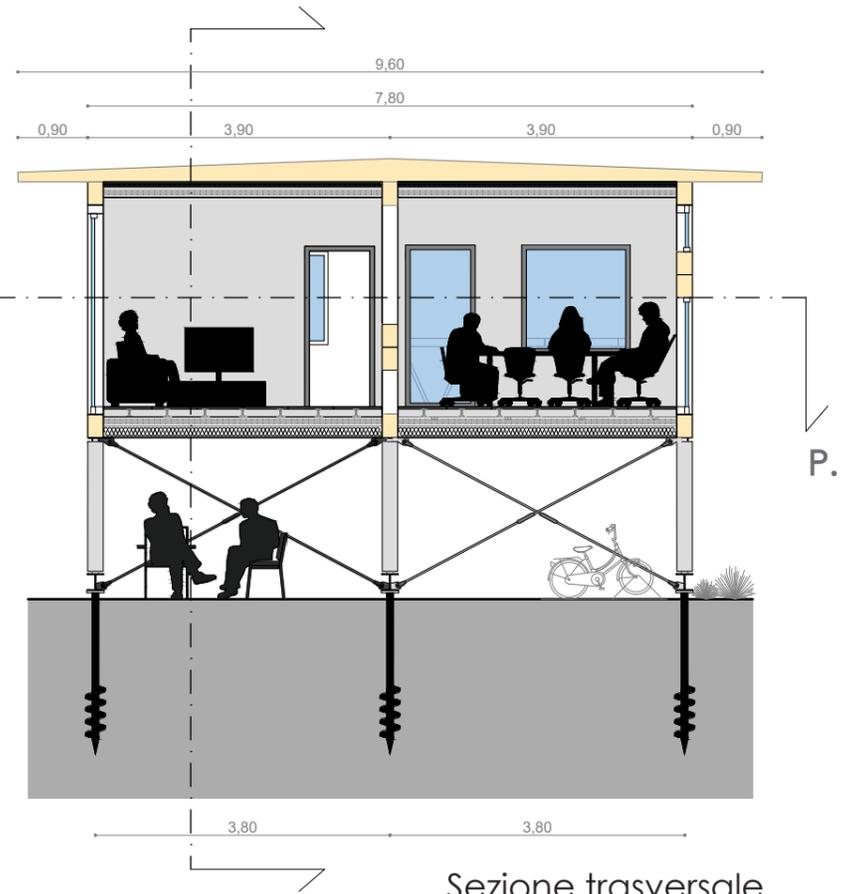
Prospetto laterale  
1 : 100



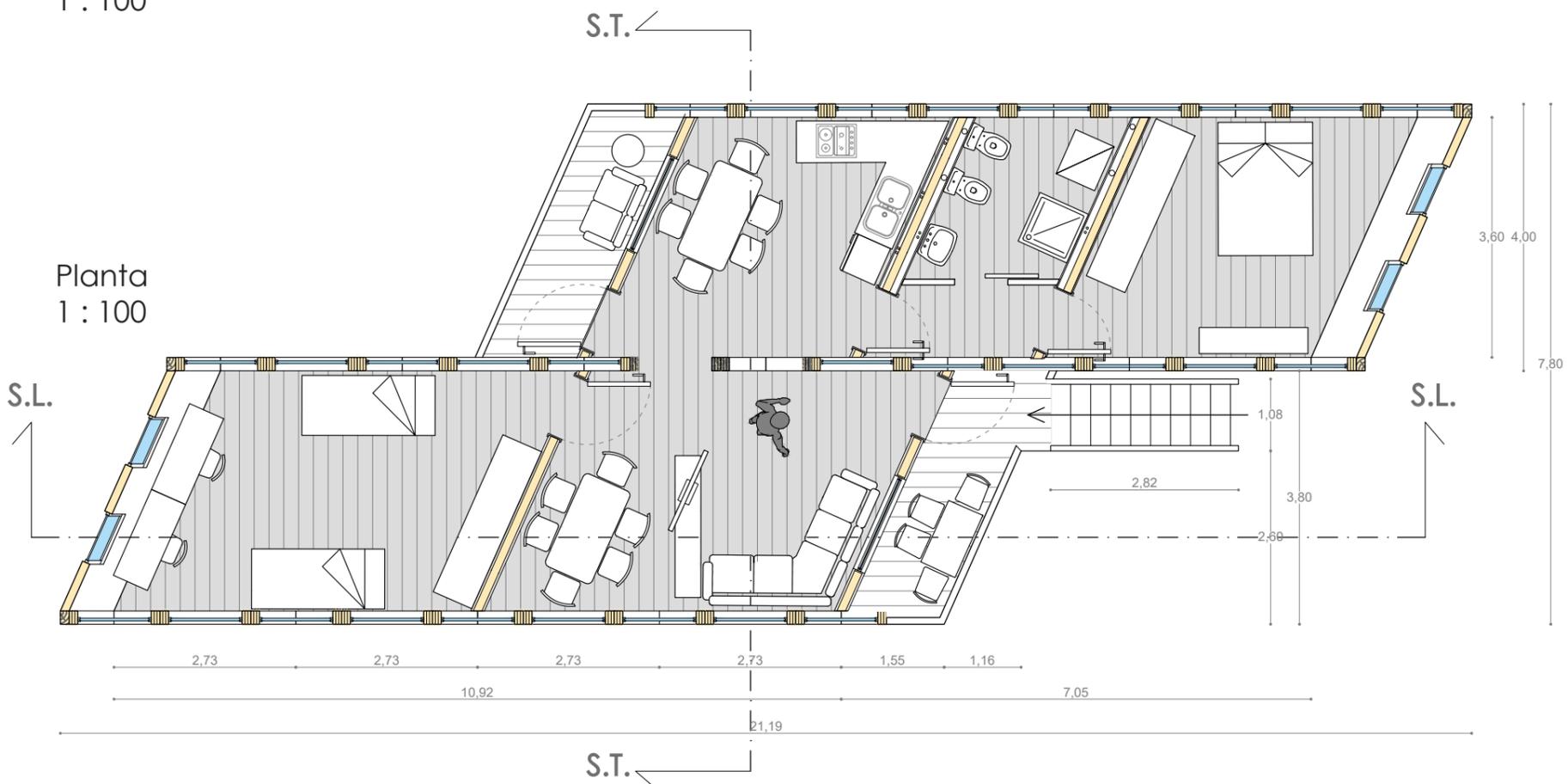
Prospetto frontale  
1 : 100



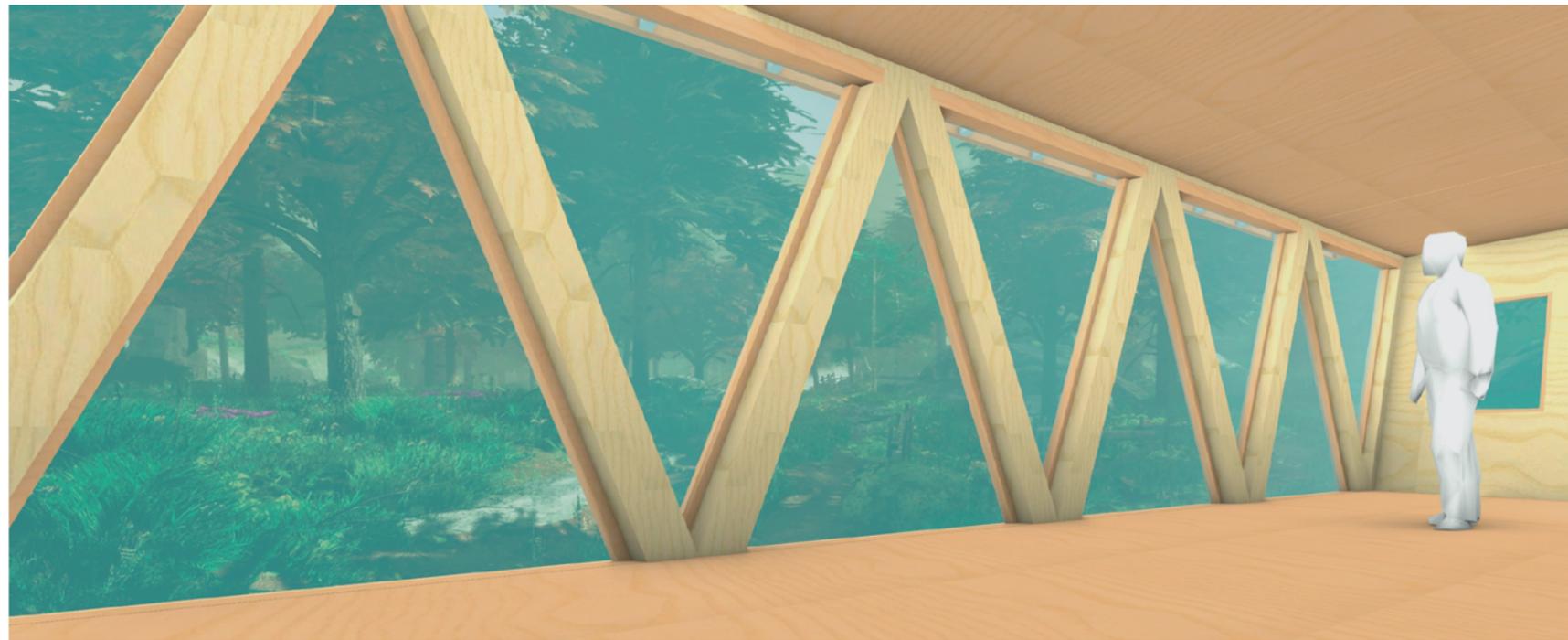
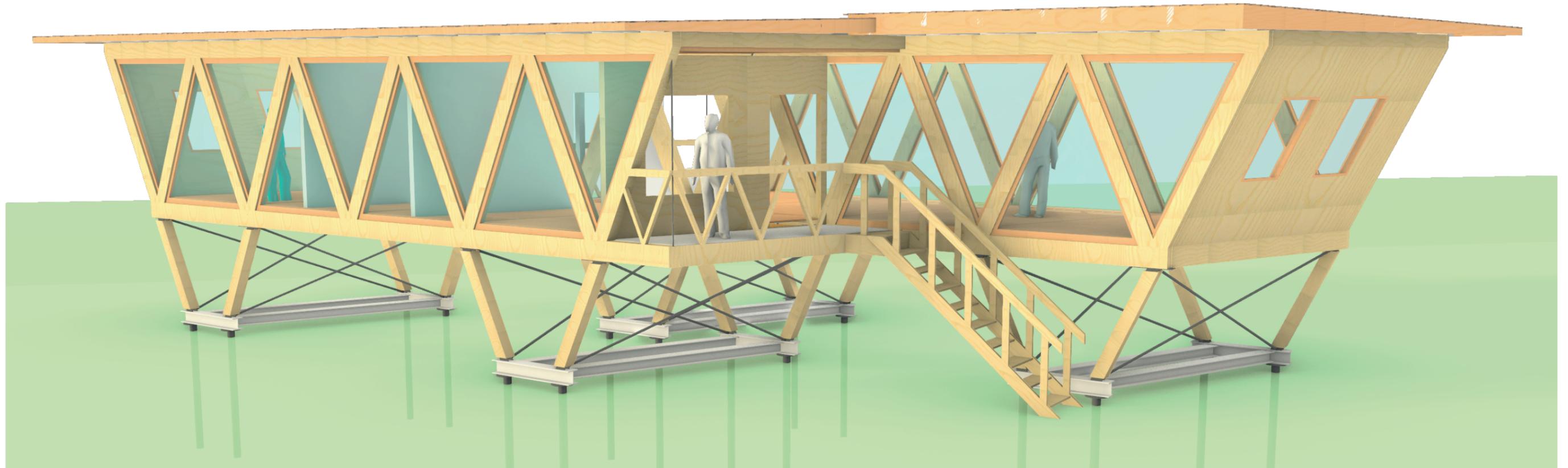
Sezione longitudinale  
1 : 100

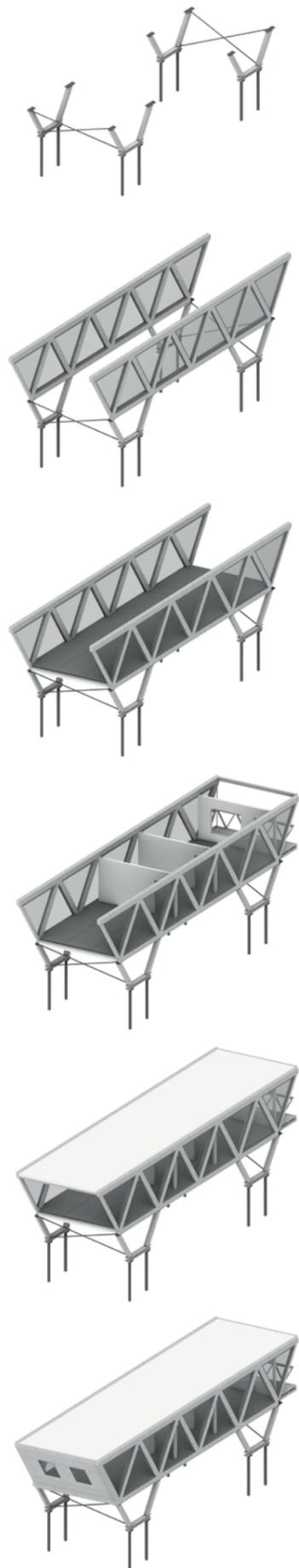


Sezione trasversale  
1 : 100

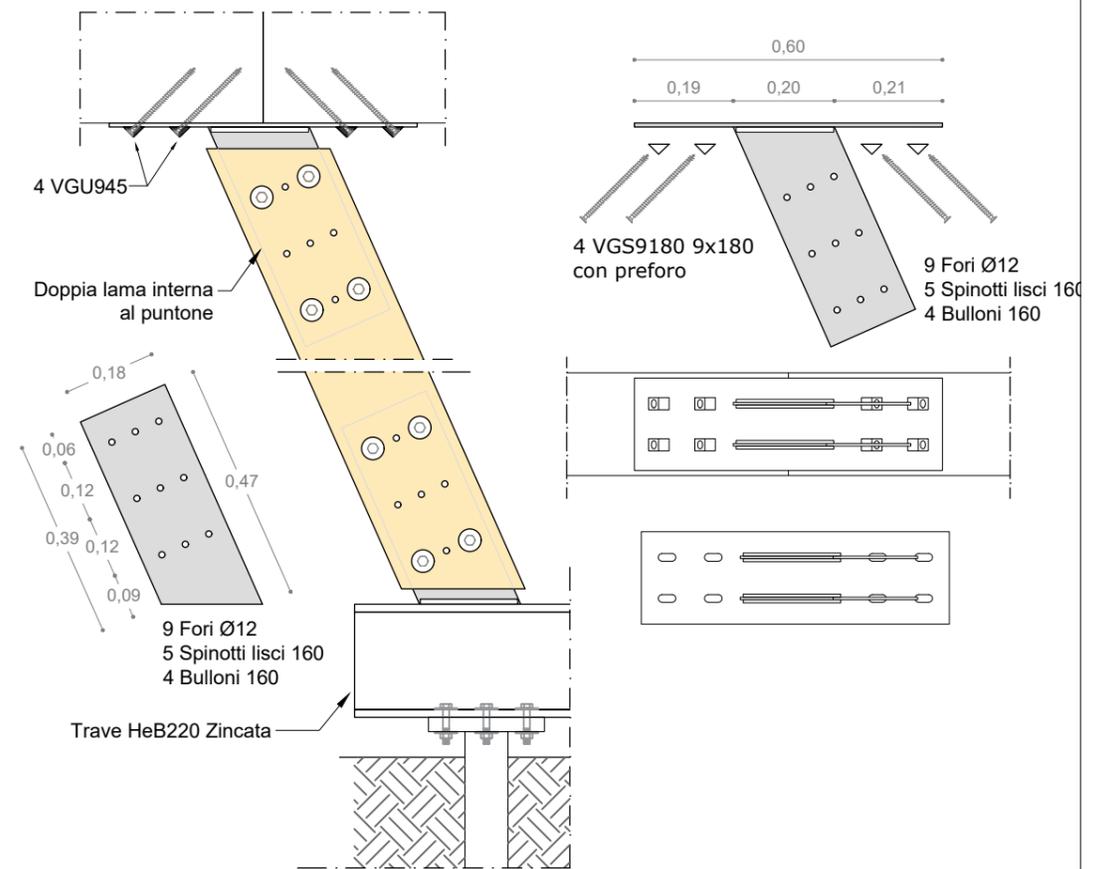
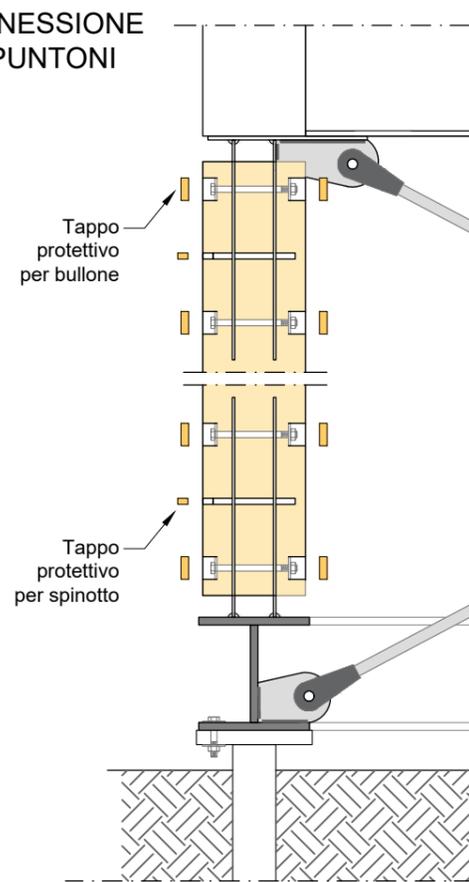


Planta  
1 : 100

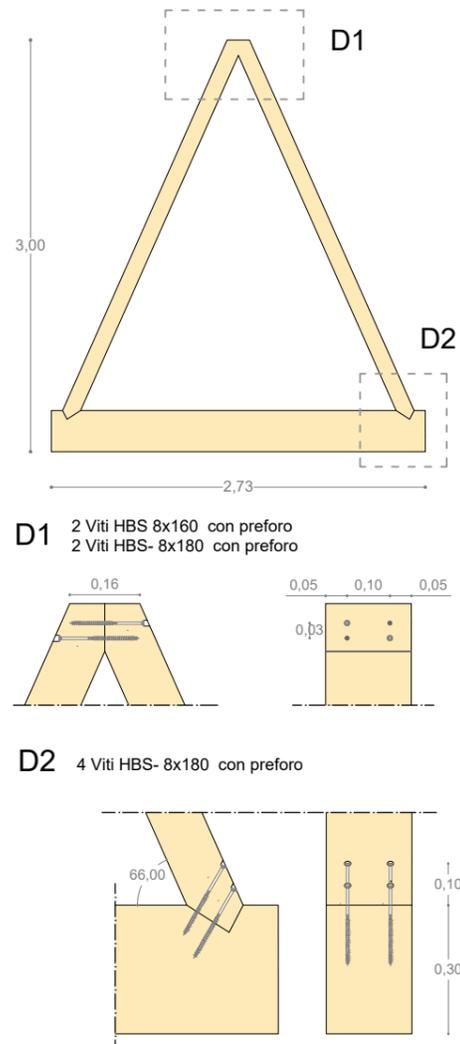




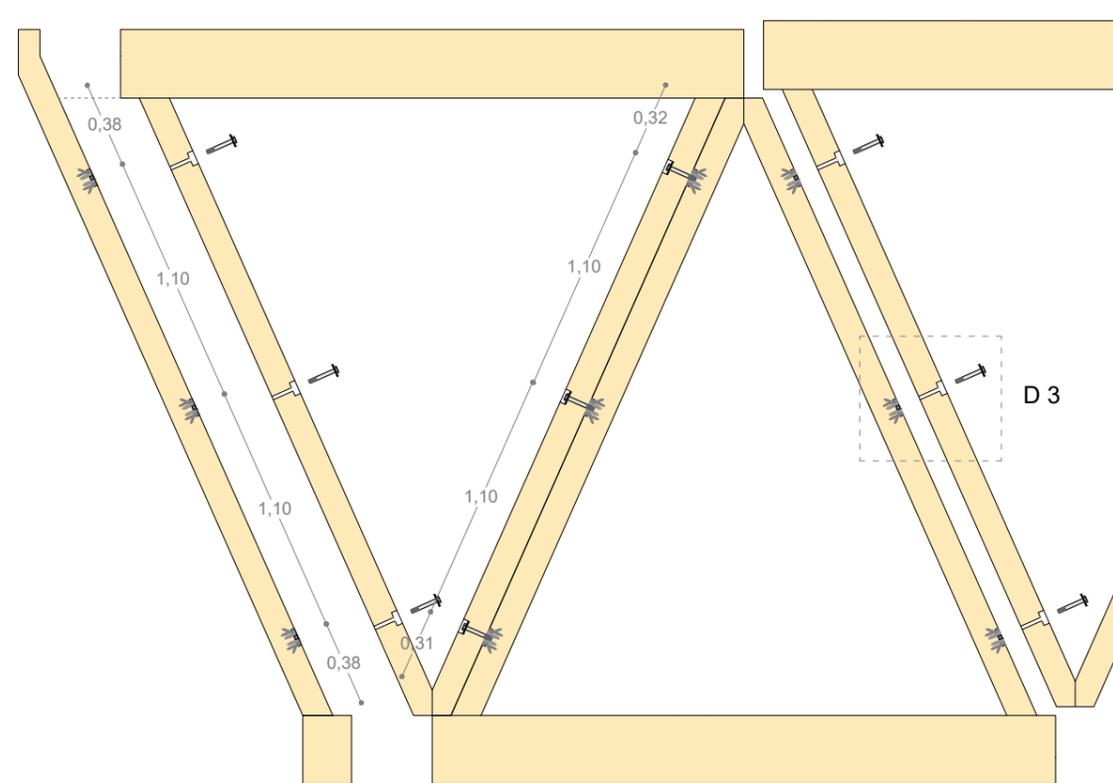
**CONNESSIONE DEI PUNTONI**



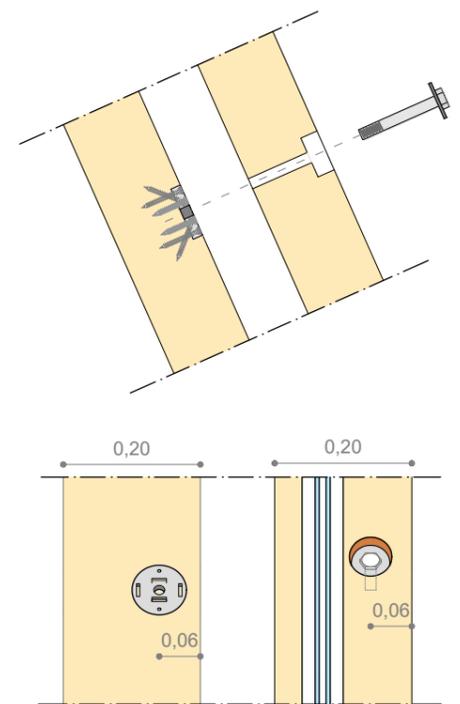
**CONNESSIONI INTERNE AL MODULO DI PARETE**



**CONNESSIONE TRA I MODULI DI PARETE**

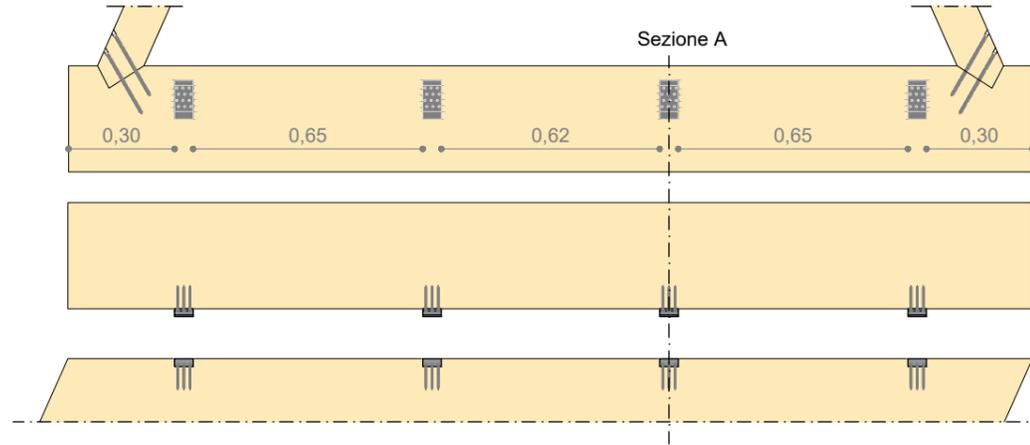


**D3 - DETTAGLIO 3 Connettore DiscFLat**

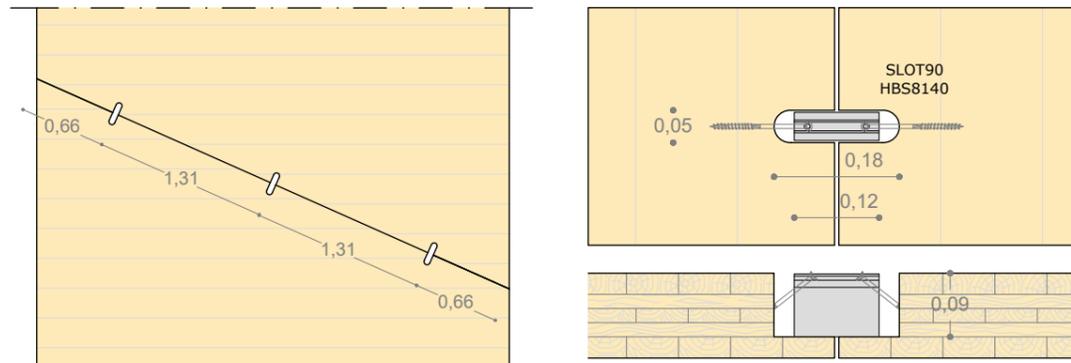




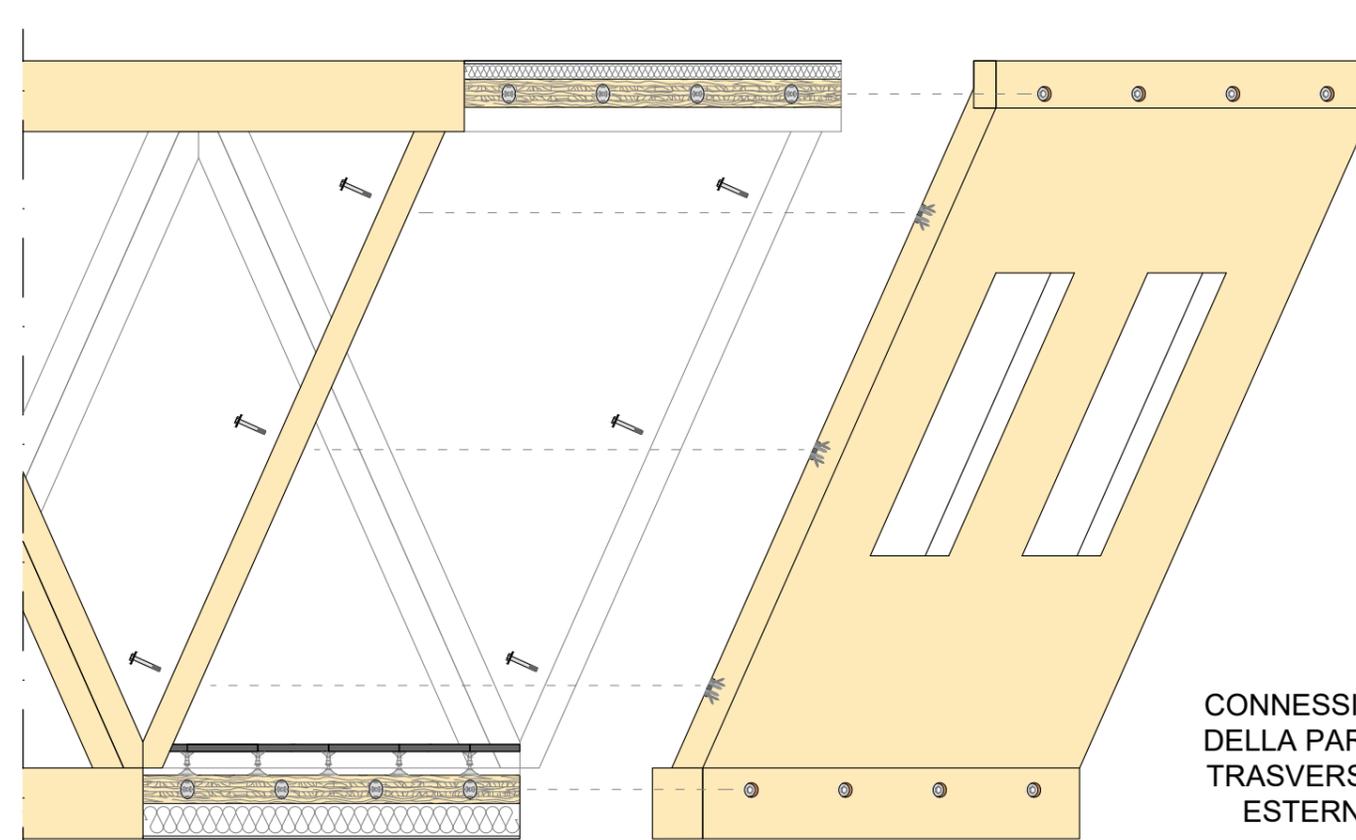
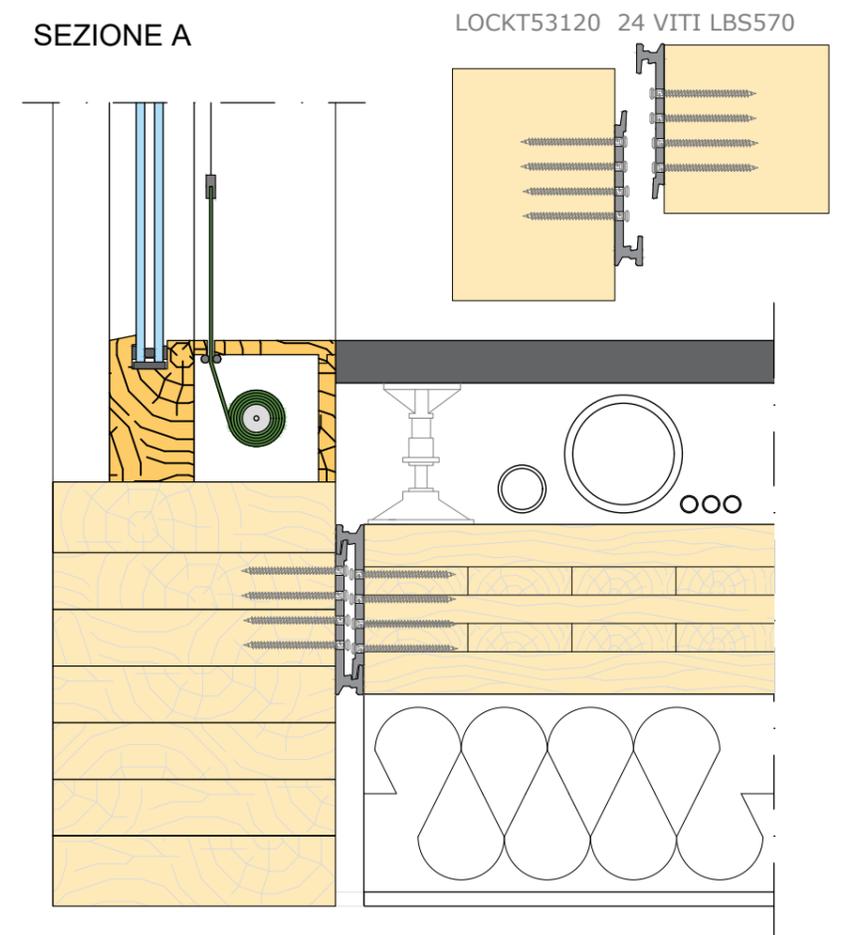
CONNESSIONE TRA PARETE E SOLAIO



CONNESSIONE TRA I MODULI DI SOLAIO



SEZIONE A



CONNESSIONE DELLA PARETE TRASVERSALE ESTERNA

