

Utilizzo dei carbon sink per ridurre ed intrappolare le emissioni di GHG presenti nell'atmosfera.

**Costruzioni
in legno.**

Isotta Matassoni



POLITECNICO DI TORINO
MSc program in Architecture for
sustainable Design

Master's doble degree thesis
Acedemic year of 2019-2020

Supervisors:
Guido Callegari
Liliana Bonvecchi

Co-supervisor:
Corrado Carbonaro

Candidate:
Isotta Matassoni
250733

A Cesena per avermi insegnato la pazienza,
a Venezia per avermi insegnato l'indipendenza,
a Torino per avermi colmata di curiosità per il mondo e
a Buenos Aires che mi ha mostrato cos'è la libertà.

INDICE

INDICE:

0. Abstract	11
1. La situazione ambientale	15
1.1 Evidenze e cause	19
1.2 Le politiche	24
1.3 Azioni per l'edilizia	30
1.4 Il COVID-19 sull'ambiente	35
2. Effetti climatici generati dalle città e le possibili soluzioni per mitigarne gli effetti	37
2.1 Stoccaggio naturale del carbonio	41
2.2 Emissioni e stoccaggio dei materiali da costruzione, il footprint e i carbon sinks	44
2.3 Approcci Europei e Nord Americani all'utilizzo del legno in costruzione	49
3. Il progetto e l'impronta ambientale	65
3.1 Il progetto "SHLOW"	68
3.2 Emissioni dell'edificio in acciaio	90
3.3 Calcolo GWP dell'edificio in legno	98
4. Potenzialità dello stoccaggio a grande scala	101
4.1 Stoccaggio mancato	104
4.2 Potenziale stoccaggio futuro	106
Conclusioni	111
Allegati	117
Bibliografia e sitografia	133
Ringraziamenti	139

ABSTRACT

ABSTRACT:

ITA:

Dall'epoca della rivoluzione industriale al 2018 la popolazione mondiale ha rilasciato oltre 1.500 miliardi di tonnellate di CO2 nell'atmosfera, solo nel 2019 ne sono stati rilasciati altri 37 miliardi pari ad oltre il doppio di quelli rilasciati nel 2000 (24 mld) ed quasi tre volte tanto rispetto a quelli del 1970 (14 mld).

Combinati con gli altri gas serra il totale delle emissioni mondiali risulta pari 51 miliardi di tonnellate di CO2 equivalente ogni anno (dati pubblicati dal CAIT Climate Data, riferiti al 2017), valori che continuano ad aumentare provocando: incendi, scioglimento dei ghiacci, aumento del livello dei mari, uragani, crescita delle temperature e numerosi altri cataclismi ambientali e di conseguenza sociali.

Partendo da questi dati la tesi si sviluppa come un testo critico in cui vengono presentate le problematiche e le strategie proposte dai vari stati per contrastare quello che ad oggi è uno dei problemi più attuali ed imminenti mai affrontati.

Esaminando le varie politiche nazionali ed internazionali ci si rende velocemente conto che le aspettative di riduzione di emissioni sono troppo alte e che le finalità sono quasi del tutto irrealizzabili entro i brevi termini prestabiliti, a volte a causa di una grossa mancanza di collaborazione tra i vari paesi ed altre per colpa di una mancanza di fondi.

Proprio per questo motivo l'elaborato ha come scopo quello di fornire una possibile soluzione a breve termine nel campo dell'architettura, proponendo un cambio nella progettazione "tipo" attraverso il passaggio dalla classica costruzione in acciaio e cemento a quella in legno che presenta la capacità intrinseca di stoccare carbonio.

ESP:

Desde la época de la revolución industrial hasta el 2018, la población mundial liberó más de 1.500 millones de toneladas de CO2 en la atmósfera, solo en 2019 se liberaron otros 37 mil millones, lo que equivale a más del doble de la cantidad liberada en el 2000 (24 mil millones) y casi tres veces más de la emitida en el 1970 (14 mil millones). Combinado con los otros gases de efecto invernadero, las emisiones mundiales totales equivalen a 51 mil millones de toneladas de CO2 equivalente cada año (datos publicados por CAIT Climate Data, referidos a 2017), valores que continúan aumentando provocando: incendios, derretimiento de hielo, aumento del nivel del mar, huracanes, aumento de las temperaturas y otros numerosos cataclismos ambientales y sociales.

A partir de estos datos, la tesis se desarrolla como un texto crítico en el que se presentan los problemas y estrategias propuestas por los distintos estados para contrarrestar lo que hoy es uno de los problemas más actuales e inminentes jamás enfrentados. Al examinar las distintas políticas nacionales e internacionales, uno rápidamente se da cuenta de que las expectativas de reducción de emisiones son demasiado altas y que los objetivos son casi completamente inalcanzables en los cortos plazos preestablecidos, a veces por una gran falta de colaboración entre los distintos países y otros por falta de fondos.

Precisamente por esto el elaborado pretende dar una posible solución a corto plazo en el campo de la arquitectura, proponiendo un cambio en el diseño "típico" a través del paso de la clásica construcción de acero y hormigón a la de madera que presenta la capacidad inherente de almacenar carbono.

Lo scritto si divide quindi in 4 parti, ognuna delle quali si focalizza su un tema specifico:

- **PARTE 1: LA SITUAZIONE AMBIENTALE**

In questa prima parte vengono analizzate le evidenze e le cause del cambiamento climatico e le varie politiche adottate dai singoli paesi per contrastarlo. Il focus principale di questo primo capitolo ricade sulle scelte, vecchie e nuove, adottate a livello edilizio per contrastare le emissioni degli edifici.

- **PARTE 2: EFFETTI CLIMATICI GENERATI DALLE CITTA' E LE POSSIBILI SOLUZIONI PER MITIGARNE GLI EFFETTI**

Si analizzano alcune delle strategie adottate per ridurre le emissioni attraverso le proposte dei pozzi di carbonio naturali e quelli artificiali. Le nuove proposte delle costruzioni lignee come carbon sink ed alcuni esempi di strutture in altezza che ne sfruttano i vantaggi.

- **PARTE 3: IL PROGETTO E LE SUE EMISSIONI**

Introduzione alla torre progettata in Argentina e il calcolo delle sue emissioni date dalla produzione dei suoi materiali confrontati con quelle prodotte da un ipotetico edificio identico progettato in legno.

- **PARTE 4: POTENZIALITA' DELLO STOCCAGGIO A LARGA SCALA**

Calcolo dei metri quadri costruiti a Buenos Aires e in Italia in 5 anni e la relativa emissione data dalle nuove costruzioni confrontata con la quantità di CO2 mancata che sarebbe potuta essere stoccata. Gli scenari proposti da Nature Sustainability e il possibile stoccaggio futuro a livello mondiale nei prossimi 30 anni che sarebbero in grado di far rispettare l'accordo di Parigi nei tempi previsti.

Por tanto, la tesis se divide en 4 partes, cada una de las cuales se centra en un tema específico:

- **PARTE 1: LA SITUACIÓN AMBIENTAL**

En esta primera parte se analizan las evidencias y causas del cambio climático y las diversas políticas adoptadas por los países para combatirlo. El enfoque principal de este primer capítulo recae en las opciones, antiguas y nuevas, adoptadas a nivel edilicio para combatir las emisiones de los edificios.

- **PARTE 2: EFECTOS CLIMÁTICOS GENERADOS POR LAS CIUDADES Y LAS POSIBLES SOLUCIONES PARA MITIGAR SUS EFECTOS**

Se analizan algunas de las estrategias adoptadas para reducir las emisiones a través de las propuestas de sumideros de carbono naturales y artificiales. Las nuevas propuestas de construcciones de madera como sumideros de carbono y algunos ejemplos de torres que aprovechan sus ventajas.

- **PARTE 3: EL PROYECTO Y SUS PROBLEMAS**

Introducción a la torre diseñada en Argentina y el cálculo de sus emisiones dado por la producción de sus materiales frente a las producidas por un hipotético edificio idéntico diseñado en madera.

- **PARTE 4: POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO A GRAN ESCALA**

Cálculo de los metros cuadrados construidos en Buenos Aires y en Italia en 5 años y la emisión relativa dada por los nuevos edificios frente a la cantidad de CO2 faltante que podría haberse almacenado. Los escenarios propuestos por Nature Sustainability y el posible almacenamiento futuro a nivel mundial en los próximos 30 años que podrían hacer cumplir el acuerdo de París en los plazos previstos.

CAPITOLO 1

LA SITUAZIONE AMBIENTALE :

*“Never let a good
crisis go to waste.”*

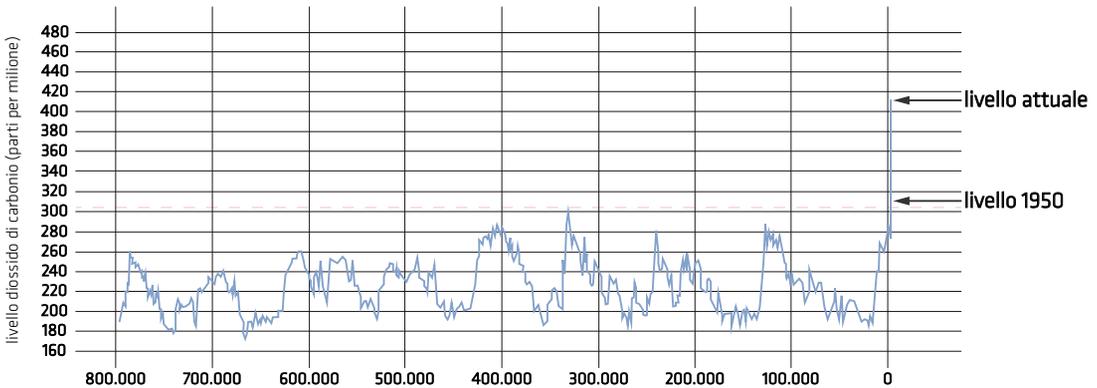
[Winston Churchill]



Perito Moreno, Argentina, 2019
Source: Isotta Matassoni

1.1 Evidenze e cause:

Il clima della Terra è cambiato nel corso della storia. Negli ultimi 650.000 anni ci sono stati sette cicli di avanzata e ritirata glaciale, con la fine improvvisa dell'ultima era glaciale, circa 11.700 anni fa, che segna l'inizio dell'era climatica moderna e della civiltà umana.



Livelli di diossido di carbonio nel corso della storia
Source: Climate NASA, elaborazione personale.

I satelliti in orbita attorno alla Terra e altri progressi tecnologici hanno permesso agli scienziati di vedere il quadro generale, dando la possibilità di raccogliere diversi tipi di informazioni sul pianeta e sul clima a scala globale, con la conseguente certezza che l'aumento dei gas serra nell'atmosfera sia la causa del riscaldamento.

La causa, accertano gli esperti, risiede nelle emissioni umane, aggravate dal continuo aumento demografico con il conseguente avanzo della produzione e del consumo depredatore della natura, della crescita del numero di automobili e delle città.

L'aumento dei gas serra e in particolare della CO₂, risulta essere il responsabile del 63% del riscaldamento globale (a fronte di una sua concentrazione nell'atmosfera che supera attualmente il 40% rispetto al livello registrato agli inizi dell'era industriale).

Le prove di questo fenomeno si riscontrano ovunque, nelle calotte di ghiaccio, negli anelli degli alberi, nei sedimenti oceanici, nelle barriere coralline e negli strati di rocce sedimentarie che mostrano che il clima della Terra risponde ai cambiamenti dei livelli di gas serra. Questa prova antica, o paleoclimatica, rivela che l'attuale riscaldamento si sta verificando circa dieci volte più velocemente del tasso medio di riscaldamento dell'era glaciale.

Le evidenze sono inequivocabili e si osservano in tutto il mondo, dai poli all'equatore.

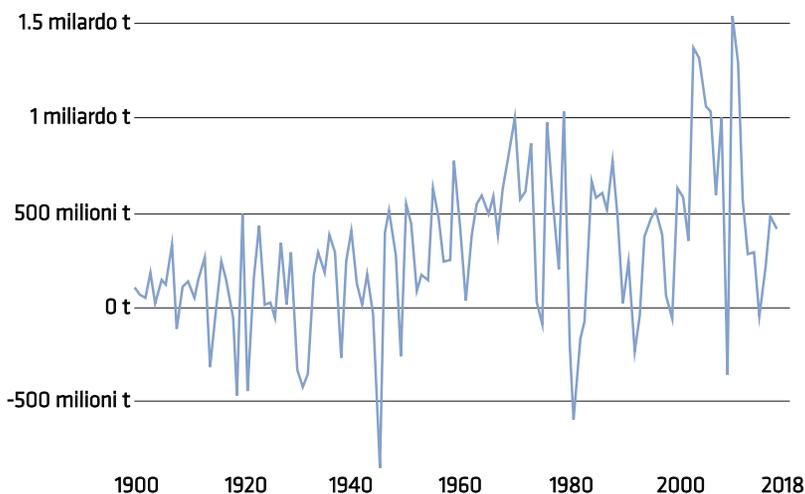
La temperatura media superficiale è aumentata di 0.9°C dalla fine del XIX secolo.

Dall'epoca della rivoluzione industriale al 2018 la popolazione mondiale ha rilasciato oltre 1.500 miliardi di tonnellate di CO₂ nell'atmosfera, solo nel 2019 ne sono stati rilasciati altri 37 miliardi pari ad oltre il doppio di quelli rilasciati nel 2000 (24 mld) e quasi tre volte tanto rispetto al 1970 (14 mld). Combinati con gli altri gas serra il totale delle emissioni mondiali risulta pari 51 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente ogni anno (dato del 2017), valori che continuano ad aumentare.

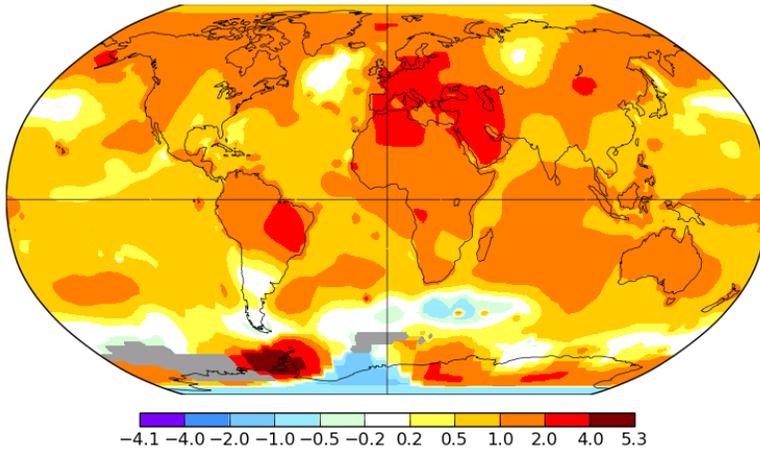
Le conseguenze di questo riscaldamento sono state e continuano ad essere ogni anno sempre più devastanti, i mari e gli oceani hanno anch'essi incrementato la loro temperatura di circa 0.4 Fahrenheit nei primi 700m superficiali dovuti all'assorbimento di oltre 2 miliardi di tonnellate di CO₂ l'anno e che dall'epoca industriale hanno provocato un aumento dell'acidificazione del 30% causando la morte di numerose specie animali e vegetali.

Lo scioglimento dei ghiacci e della carenza di rinnovo di nevi sta portando alla rapida scomparsa dei ghiacciai. Le calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide secondo i dati del "Gravity Recovery and Climate Experiment" della NASA hanno perso rispettivamente una media di 286 e 127 miliardi di tonnellate di ghiaccio all'anno, tasso di perdita che si è triplicato nell'ultimo decennio.

È ormai quindi chiaro che i cambiamenti climatici siano una realtà, la cui gravità è stata confermata dal V Rapporto dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) rilasciato nella primavera 2014 in cui si indicava che la CO₂ ed i gas serra emessi dalle attività antropiche sono la prima causa del riscaldamento climatico, e che rappresentano una sfida urgente e potenzialmente irreversibile classificandosi come la più grande problematica ambientale globale dell'era moderna.



Livelli di diossido di carbonio nel corso della storia
Source: Climate NASA, elaborazione personale.



Aumento temperatura mondiale dal 1950 al 2020
 Source:GISS Surface Temperature Analysis, NASA

Quattro anni dopo, nell'ottobre 2018, l'IPCC, durante il report "Global Warming of 1.5°C", fissò l'aumento della temperatura media terrestre a + 2 °C entro il 2050 (rispetto all'era preindustriale) al fine di evitare esiti globali drammatici e non più controllabili, pari al contenimento complessivo di concentrazioni di gas di serra atmosferici entro le 450 ppm CO₂eq (parti per milione).

Limitare l'aumento della temperatura significa effettuare scelte politiche ed economiche importanti in tempi estremamente brevi. Chiaramente i costi maggiori e le riduzioni più significative dovrebbero essere coperti dai paesi più sviluppati, che per rispettare le tempistiche dovrebbero ridurre entro il 2050 l'80/90% le emissioni di gas serra.

La quantità di carbonio che può essere rilasciata, detta budget di carbonio, verrebbe ulteriormente ridotta se le concentrazioni degli altri gas serra dovessero continuare a crescere, ad esempio nel caso di rilascio di gas serra dal permafrost.

Le conseguenze di questi cambiamenti climatici dovute a politiche sbagliate si sono già ripercosse e continuano a ripercuotersi ogni anno in maniera sempre più devastante in tutto il mondo.

È dunque fondamentale capire le conseguenze della "disobbedienza" della legge dei 2°C.

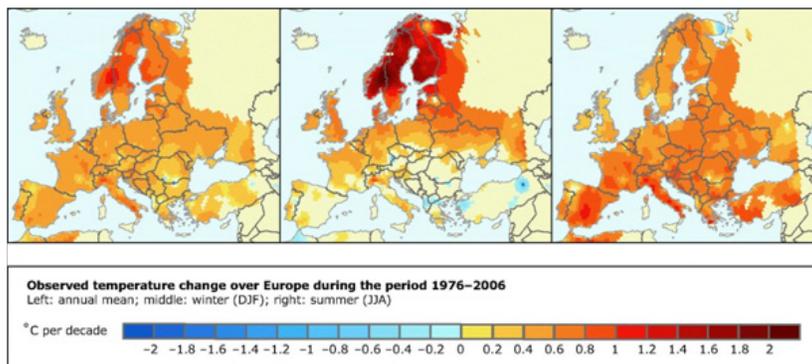
Il Rapporto Stern del 2006 elenca, sottoforma di tabella, le possibili conseguenze del riscaldamento climatico.

	ACQUA	CIBO	SALUTE	TERRA	AMBIENTE	IMPATTO AMBIENTALE
1°C	Scomparsa dei ghiacciai andini (rischio idrico per 50 milioni di persone)	Modesto aumento di resa agricola nelle regioni temperate	300.000 morti l'anno per diarrea, malaria e malnutrizione	Disgelo del permafrost	10% delle specie a rischio estinzione	Circolazione termoaerea atlantica si indebolisce
2°C	Diminuzione del 20-30% della disponibilità di acqua in Africa e Mediterraneo	Brusca riduzione della resa agricola	40-60 milioni di persone esposte alla malaria in Africa	10 milioni di persone colpite dalle esondazioni costiere	15-40% delle specie a rischio estinzione	Inizia a fondere il ghiaccio in Groenlandia (aumento del livello del mare di 7cm).
3°C	Gravi siccità, da 1 a 4 miliardi di persone con meno acqua; da 1 a 5 a rischio inondazioni	Rischio di fame per 150-550 milioni di persone	Da 1 a 3 milioni di morti per malnutrizione	Da 1 a 170 milioni di persone colpite da inondazioni	20-50% delle specie a rischio estinzione. Inizio collasso foresta amazzonica	Rischio di brusche variazioni nella circolazione atmosferica (monsoni).
4°C	Diminuzione del 30-50% della disponibilità d'acqua in Sud Africa e Mediterraneo	Riduzione agricola in Africa del 15-35%	Oltre 80 milioni di persone esposte a malaria in Africa	Da 7 a 300 milioni di persone colpite da inondazioni	Perdita della metà della tundra antartica	Rischio collasso dell'Atlantico Occidentale.
5°C	Possibile scomparsa dei ghiacciai dell'Himalaya con effetti su 1/4 della popolazione cinese	Acidificazione dell'oceano		Innalzamento del mare, minaccia delle aree e città costiere		Rischi collasso della circolazione termoaerea atlantica.

Tabella conseguenze riscaldamento globale
Source: Rappporto Stern, 2006

“La giustificazione scientifica della priorità da accordare alle misure di lotta contro l'evoluzione del clima è più chiara che mai. Disponiamo di poco tempo prima che la congiuntura che permette di limitare il riscaldamento a 2° C non abbia fine. Perché possiamo avere una buona chance di restare al di sotto dei 2° C ad un prezzo gestibile, le nostre emissioni, sul piano mondiale, dovrebbero diminuire dal 40 al 70% tra il 2010 ed il 2050, e scendere a zero almeno entro il 2100”. R. Pachauri (Presidente dell'IPCC), novembre 2014.

Per avere 2/3 delle possibilità di limitare il riscaldamento entro i 2°C rispetto ai livelli pre-industriali, il totale complessivo di emissioni di CO2 dall'inizio dell'epoca industriale dovrebbe essere limitato a 1000 giga tonnellate di carbonio. Circa la metà di questa quantità è già stata emessa prima della fine del 2011.



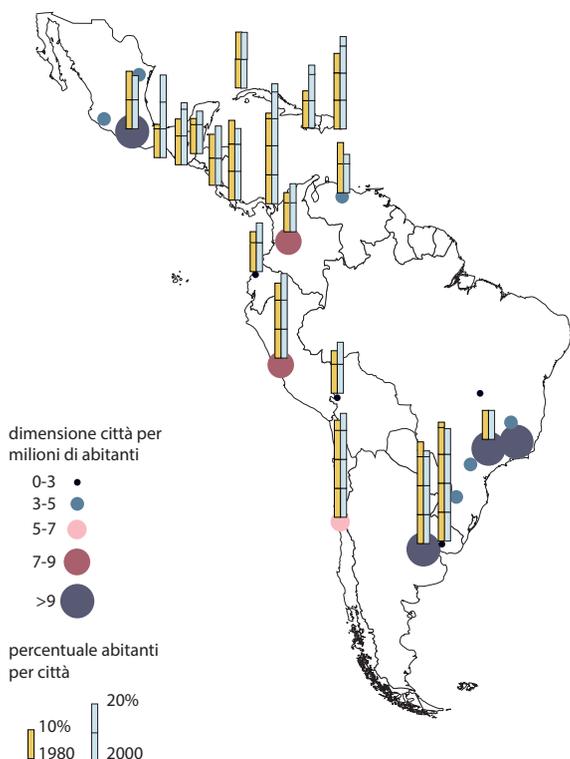
Aumento temperatura in Europa dal 1976 al 2006
Source: GISS Surface Temperature Analysis, NASA

La terribile realtà è che i cambiamenti climatici affettano molto di più gli stati che sono i minori responsabili delle emissioni provocando ulteriori disastri ambientali e di conseguenza: una maggiore povertà, mancanza di cibo e maggiori conflitti.

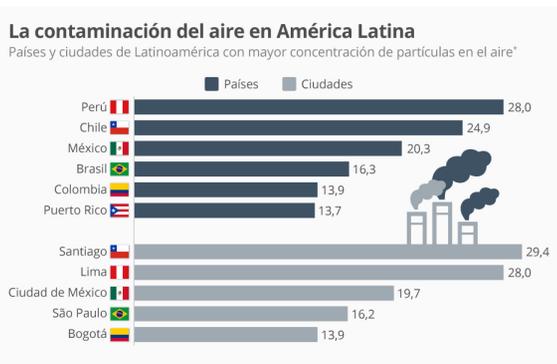
Nonostante in Europa negli ultimi anni siano aumentate le ondate di calore, gli incendi forestali e la siccità nell'area mediterranea e l'umidità e le alluvioni nell'area settentrionale gli effetti peggiori si presentano nei paesi in via di sviluppo.

Nelle città dell'America Latina, ad esempio, gli indici di contaminazione dell'aria, del suolo e dell'acqua hanno superato i limiti del sopportabile per la popolazione e minacciano seriamente il futuro delle città.

Si calcola che in tutto il mondo ogni anno siano 6 milioni le vittime della contaminazione atmosferica dovuta ai combustibili fossili, i fumi esausti delle caldaie e delle fabbriche e dei trasporti. Sono 9 su 10 le persone nel mondo che respirano aria contaminata e il 92% dei casi avvengono in paesi sottosviluppati. Nella sola Argentina, secondo la OMS (Organizzazione Mondiale della Salute) le morti per anno sono oltre 15 mila di cui 85 sono bambini sotto i 15 anni.



Evolutione delle metropoli in America Latina tra il 1980 e il 2000
Source: UNPD 2002, Cartografia C Pamreister, elaborazione personale.



Contaminazione dell'aria in America Latina
Source: Word Air Quality Report, Greenpeace, 2018



Effetti della contaminazione dell'aria in America Latina
Source: Health Effects Institute, Global Air, 2019

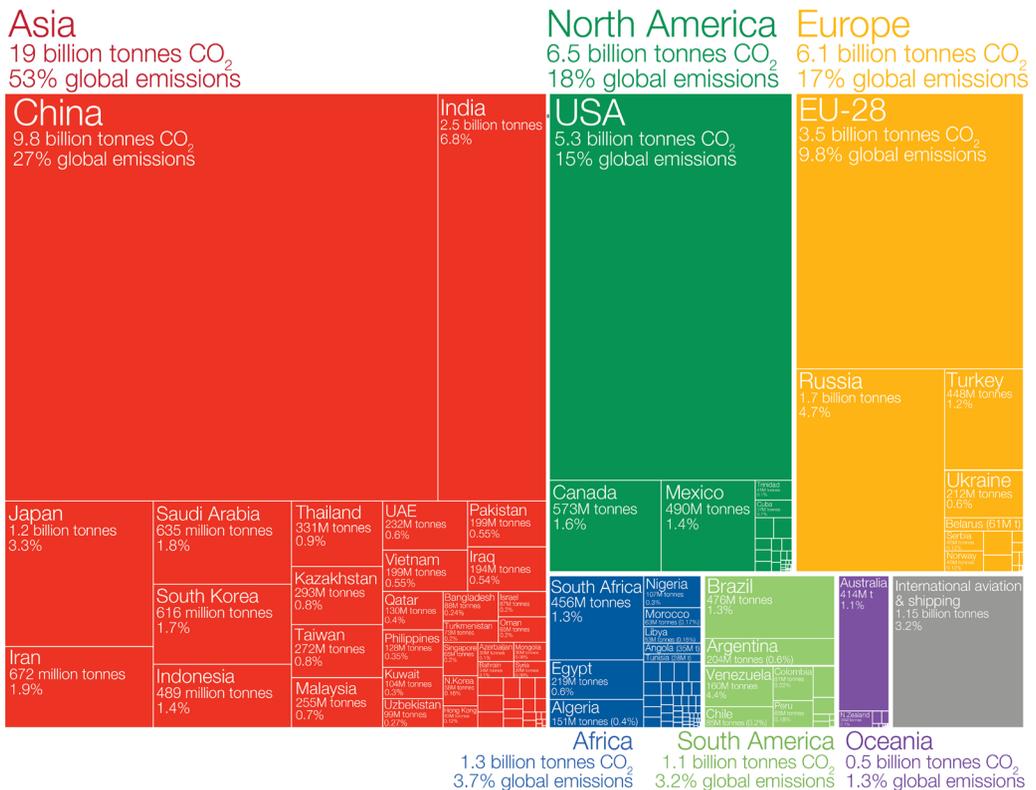
1.2 Le Politiche:

Nonostante l'avanzamento in certi campi, lo sviluppo delle tecnologie pulite e della diminuzione delle emissioni si è limitato ai paesi più ricchi che avevano già in partenza un capitale sufficiente da spendere in ricerca. Il leggero miglioramento di emissioni si è dunque limitato ad un numero per capita molto basso considerando che sono i paesi in via di sviluppo quelli con il maggior numero di popolazione.

Stati come il Canada, gli Stati Uniti e quelli europei hanno abbassato le loro emissioni mentre altri come Cina e India continuavano a crescere a livello demografico e a produrre di conseguenza sempre più CO2.

Nasce quindi un dibattito a livello mondiale su chi ritiene la colpa maggiore dell'emissione dei gas serra e chi dunque debba contribuire maggiormente alla sua diminuzione sia a livello di produzione che a livello economico.

I fattori da considerare sono diversi, se guardassimo solo i livelli odierni di emissioni vedremmo che oltre la metà di CO2 è attualmente prodotta dall'Asia seguita dal Nord America, l'Europa, Africa e Sud America.



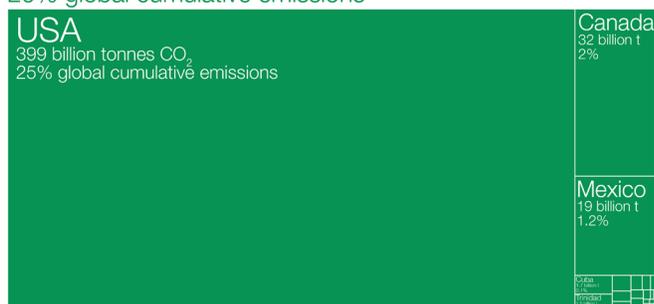
Percentuali emissioni di CO2 mondiali del 2017
 Source: Global Carbon Project, GCP; tabella Our World Data

Dei 36.2 miliardi di tonnellate prodotte nel 2017, i maggiori responsabili sono la Cina che rappresenta il 27% delle emissioni mondiali totali seguita dagli Stati Uniti con il 15% e dall'UE con il 10%, Questi 3 soli insieme producono oltre la metà delle emissioni totali annuali mondiali. Il loro contributo è quindi fondamentale nella risoluzione del cambiamento climatico.

Non è però sufficiente guardare solo alla situazione attuale per avere un'idea chiara. I paesi "ricchi" hanno fondato la loro fortuna sui combustibili fossili, costringendo tutti gli altri ad esserne dipendenti, per cui osservando le emissioni nel corso della storia la situazione attuale cambia drasticamente. Gli Stati Uniti sono infatti responsabili del 25% delle emissioni totali emesse fino ad oggi seguiti da un 22% dell'Europa e solo un 13% dalla Cina.

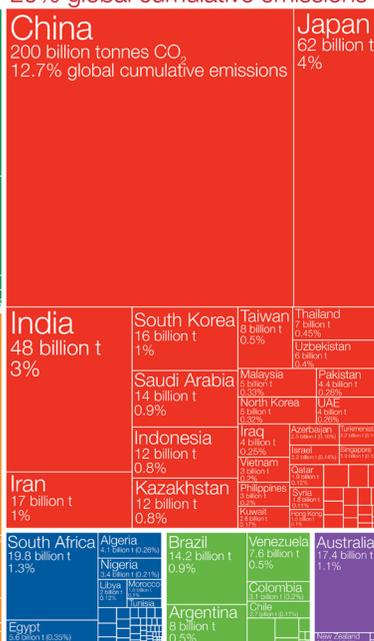
North America

457 billion tonnes CO₂
29% global cumulative emissions



Asia

457 billion tonnes CO₂
29% global cumulative emissions



EU-28
353 billion tonnes CO₂
22% global cumulative emissions



Europe

514 billion tonnes CO₂
33% global cumulative emissions

Percentuali emissioni cumulative di CO₂ mondiali dal 1751 al 2017
Source: Global Carbon Project, GCP, tabella Our World Data

Africa South America
43 billion tonnes CO₂, 3% global emissions
40 billion tonnes CO₂, 3% global emissions

Altro fattore importante da considerare è quello della popolazione. Come già precedentemente affermato, maggior crescita demografica corrisponde ad un necessario maggior sviluppo che a sua volta comporta, allo stato attuale, un valore maggiore di emissioni. Non è quindi corretto paragonare un paese come la Cina con 1.4 miliardi di abitanti agli USA che ne hanno solo 330 milioni. È necessario capire a quanto equivalgono le emissioni di CO₂/persona. In media ogni persona è responsabile dell'emissione di 5 tonnellate di CO₂ per anno, ma questo ovviamente cambia a seconda dell'età e dello stile di vita che si intrattiene.

Il livello di emissioni può essere paragonato all'asticella del benessere. Passando da poveri a ricchi si inizia ad avere accesso a benefit quali elettricità, acqua, riscaldamento, mobilità fino ad arrivare alla tecnologia personale proprio per questo motivo sono gli stati più ricchi i maggiori responsabili. I paesi sviluppati sono i responsabili dell'86% delle emissioni globali mentre gli altri paesi solo del 14%.

Nel 2017 i paesi con il più alto valore di emissioni pro capite erano:

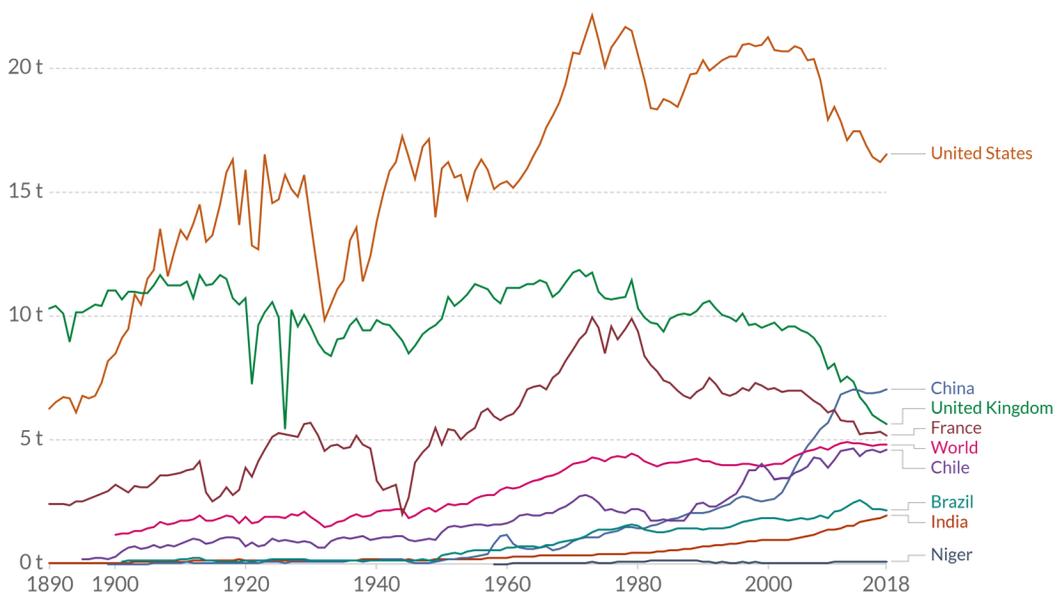
- Qatar 49t/pers
- Trinidad 30/pers
- Kuwait 25/pers
- Emirati Arabi 25/pers
- Brunei 24/pers
- Bahrain 23/pers
- Sud Arabia 19/pers

Stati piccoli con un'economia puramente basata sull'estrazione e sull'utilizzo di combustibili fossili, con una percentuale discreta di popolazione estremamente ricca che investe in continui progetti per migliorare le città e lo standard di vita.

Per quanto riguarda i "grandi" paesi invece:

- Australia 17t/pers
- USA 16 t/pers
- Canada 16 t/pers
- Germania 10 t/pers
- Cina 7 t/pers

Si può dunque constatare che la Cina, nonostante sia attualmente la maggior produttrice di CO2 a livello globale, emette meno della metà di gas serra pro capite rispetto agli Stati Uniti d'America. La realtà è che i paesi sviluppati continuano, nonostante le possibilità economiche, ad essere ancora i maggiori responsabili dell'inquinamento.



Percentuali emissioni di CO2 pro capite misurate in tonnellate per anno
Source: Global Carbon Project, GCP, tabella Our World Data

Un tedesco emette oltre 5 volte tanto l'equivalente di un indiano in un anno e in solo 2,3 giorni un statunitense emette la stessa quantità di CO2 di un anno intero di un nigeriano.

È dunque fondamentale, nonostante i conflitti economici che si sono generati, riuscire a lavorare in gruppo e non singolarmente. I paesi più sviluppati, che possiedono le risorse economiche e scientifiche, hanno la responsabilità di aiutare i paesi più poveri a non renderli dipendenti dai combustibili fossili, trainando quindi il mondo a fare meglio, mentre quelli in via di sviluppo devono riuscire a stare al passo investendo sulle nuove tecnologie per poter essere competitivi nel mercato mondiale.

È un problema di tutti e tutti devono essere parte della soluzione.

Le prime politiche per la salvaguardia del clima risalgono ai primi anni 80, la maggior parte dei quali non hanno preso piede fino a decenni dopo. Solamente nei primi anni del 2000 i vari paesi, principalmente quelli più sviluppati come Europa e Stati Uniti, hanno iniziato a regolare le loro emissioni per cercare di avere un impatto minore sull'ambiente.

Nascono così leggi e iniziative per incentivare la riduzione del consumo di combustibili fossili nei trasporti nelle industrie e nelle produzioni di energia.

Nel 1990 per la prima volta la Finlandia impone una tassa sulle emissioni del carbonio, iniziativa che negli anni successivi si espande e prende piede in altri stati europei per poi incrementare agli inizi degli anni 2000 ed arrivare ad un totale di 75 stati in tutto il mondo. In Italia la tassa è stata imposta nel 1998, mentre negli USA solamente lo stato della California l'ha imposta nel 2012. Nonostante ciò molte aziende ed industrie in tutti gli Stati Uniti tengono conto del "internal price on carbon" valori che vengono pubblicati al pubblico per incentivare gli investimenti futuri.

Ad oggi l'Europa sta progettando un'espansione del suo sistema di tariffazione del carbonio, il più grande al mondo mentre la Cina ne sta istituendo uno nuovo di zecca.

I prezzi più bassi dell'energia rendono più facile tagliare i sussidi per i combustibili fossili e introdurre una tassa sul carbonio aiutando con le conseguenti entrate a riparare le finanze pubbliche dei vari stati

generando così un'occasione unica.

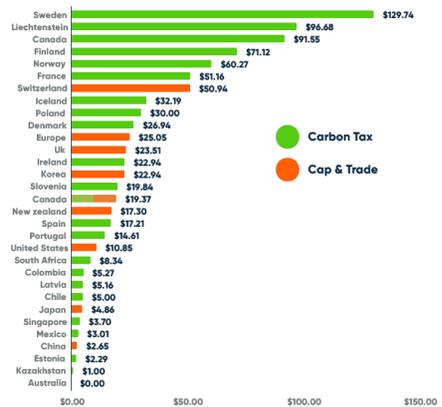
Con l'utilizzo del "carbon price" è possibile utilizzare il potere del mercato per incentivare i consumatori e le imprese a ridurre le proprie emissioni.

Il tempismo è particolarmente propizio perché tali meccanismi hanno gli effetti più immediati ed efficaci quando vi è uno squilibrio tra due tecnologie già disponibili. In passato infatti era possibile sostenere che sebbene i prezzi potessero consolidare un vantaggio per i gas puliti rispetto al carbone, le tecnologie rinnovabili erano troppo immature per poterne trarre un vantaggio economico, ma negli ultimi dieci anni i costi dell'energia eolica e solare sono crollati.

Una spinta relativamente piccola che potrebbe dare alle energie rinnovabili un vantaggio decisivo e che potrebbe diventare permanente con una più ampia diffusione rendendolo ancora più economico.

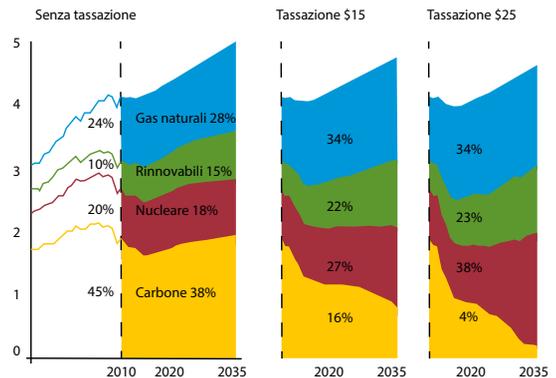
Carbon Pricing around the world

(US-Dollars per ton CO2, average per country, 2019 - Cap & Trade & Carbon Taxes)



Prezzo medio in dollari per tonnellata di carbonio nel mondo

Source:ecochain, 2019



Produzione elettricità in caso di tassazione sul carbonio negli USA

Source:EIA, Annual Energy Outlook, 2012, elaborazione personale

Nel dicembre 2015 a Parigi (COP21), per la prima volta nel corso della storia, quasi 200 stati sono riusciti ad accordarsi sui provvedimenti da prendere entro il 2050 per salvaguardare il nostro pianeta con l'obiettivo comune di non superare i 2°C rispetto all'epoca industriale, temperatura stabilita dagli studiosi come limite per la sopravvivenza del pianeta.

Il COP21 è stato possibile grazie a tre fattori fondamentali: una netta diminuzione dei costi sulle energie pulite, un elevato costo dovuto ai numerosi cambiamenti climatici con le rispettive "distruzioni" ed infine un cambio dell'opinione pubblica che finalmente dopo anni si sta rendendo conto della gravità del tema.

L'accordo sinteticamente si basa su 3 punti fondamentali, il primo che riguarda gli obiettivi a lungo termine, ciò ridurre praticamente a zero le emissioni, il secondo che riguarda la trasparenza dei vari stati sui piani effettuati e i risultati ottenuti ed infine una serie di "checkpoints" ogni 5 anni con lo scopo di controllare gli avanzamenti ed incrementare gli sforzi.

L'agreement in sé non obbliga nessuno stato a leggi specifiche per raggiungere entro un determinato periodo gli obiettivi proposti, ma lascia ad ognuno la possibilità di scegliere una propria politica a patto di migliorare il proprio "footprint".

A livello economico l'accordo prevede un finanziamento di oltre 100 miliardi di dollari l'anno da parte dei paesi sviluppati come sovvenzione ai paesi in via di sviluppo sulla base che questi paesi si sono sviluppati e arricchiti in passato grazie alla rivoluzione industriale rendendo così dipendenti dalle proprie risorse tutti gli altri.

Da questo accordo ogni stato ha dunque generato il proprio piano d'azione. Tra i più importanti e significativi troviamo il "New Green Deal" negli Stati Uniti e a livello Europeo "l'European Green Deal", entrambi basati sugli obiettivi comuni prestabiliti dall'accordo di Parigi, ridurre le emissioni.

Il Green New Deal si concentra sulla riduzione a zero dell'uso di combustibili fossili nel corso di soli 30 anni, stravolgendo completamente la mobilità, la produzione del cibo e la produzione di energia elettrica. Chiaramente queste modifiche considerano un cambio generale della società e dell'economica, che porteranno a disoccupazione e un crollo dell'economico iniziale. Per questo motivo lo stesso piano in

sé presuppone dei fondi per aiutare quella che sarà la transizione delle persone che lavorano nel campo dei combustibili fossili a quelli sostenibili per aiutarli nella ricerca e nella qualificazione di un nuovo lavoro. Il New Green Deal ha chiaramente generato una separazione netta all'interno dell'opinione pubblica americana. Da una parte i democratici, con Joe Biden a capo, che sostengono il progetto e pongono l'attenzione sulla necessità di modificare la struttura produttiva del paese e quindi della riduzione drastica delle emissioni, mentre dall'altra i repubblicani guidati dall'attuale presidente Donald Trump. Quest'ultimi non solo non desiderano la legge sul clima e si impongono fortemente contro il New Deal, definendolo come il collasso dell'economia americana, ma negano alla base la reale esistenza del cambiamento climatico andando così contro l'accordo di Parigi a cui aveva aderito l'ex presidente Barack Obama.

A livello europeo, il vecchio continente si è prefissato con il presidente della commissione europea, Ursula von der Leyen, di essere climaticamente neutrale entro il 2050.

Per raggiungere l'obiettivo, entro il 2030 l'Europa dovrebbe ridurre del 55% le emissioni attuali, utilizzando lo "smart sector integration" rendendo completamente sostenibili i campi dei trasporti, del riscaldamento e delle industrie e di superare il 32% dell'energia prodotta con fonti rinnovabili investendo un 1 trilardo di euro per aiutare i paesi dell'unione a superare la transizione.

Entrambi questi accordi, in realtà impongono obiettivi da raggiungere senza proporre grandi soluzioni, per cui sta ai singoli stati adeguarsi ai valori che si debbono raggiungere e tagliare di netto le proprie emissioni.

Chiaramente sono ancora molti i pareri contrastanti che arrivano da ogni opposizione politica dei vari stati, alcuni continuano a negare l'esistenza di una reale minaccia, altri accusano i governi di voler prendere il controllo sulla popolazione, altri ancora sono preoccupati per le situazioni economiche che tali provvedimenti recherebbero ai cittadini, soprattutto a quelli delle classi più basse. Perfino personaggi di rilevanza pubblica come l'attivista ambientale Greta Thunberg esprimono la loro contrarietà accusando l'Unione Europea di aver creato ancora una volta un accordo che

non risolve il problema ma lo posticipa. “European Commission proposed a European climate law which basically says that we will, once again, wait a few more years to start putting the fire out, and that is not how you act in a crisis because time is a luxury that we do not have.” [protesta del 06/03/2020 a Bruxell]

Anche i paesi in via di sviluppo stanno cercando di avviare, nonostante le difficoltà economiche, dei piani per rispettare gli obiettivi dati dal COP 21.

Nel caso specifico dell'Argentina per sostenere il miglioramento del clima è stato istituito il Climate Action Tracker (CAT), un'analisi che contribuisce alle future revisioni e che mira a stimolare un aumento delle azioni di mitigazione del clima per colmare il divario tra le attuali proiezioni delle emissioni e i percorsi richiesti compatibili con Parigi.

L'Argentina possiede un grande potenziale per il miglioramento climatico, in particolare nelle aree del settore energetico, dei trasporti e dell'edilizia. Migliorando quest'ultimi si ridurrebbero significativamente le emissioni di gas a effetto serra sostenendo gli obiettivi di sviluppo sostenibile e riducendo gli effetti negativi dell'inquinamento.

L'Argentina sta dando la priorità alle misure di efficienza energetica come fattori chiave per ridurre le emissioni di gas a effetto serra nel settore dell'edilizia grazie a una progettazione, costruzione e uso delle abitazioni pubbliche più efficienti.

Ciò nonostante è dal 1996 che risultano in continuo aumento le emissioni di gas a effetto serra nel settore residenziale, valori che il paese ha provato a contrastare con l'adozione di calore pompe e serbatoi di riscaldamento dell'acqua più efficienti, misure chiaramente non sufficienti a ribaltare il benchmark.

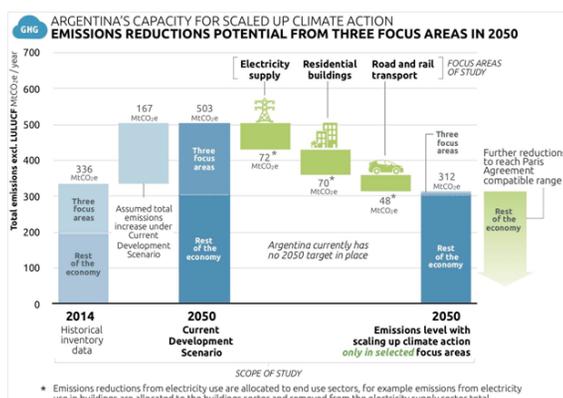
Nel caso specifico della città di Buenos Aires, secondo l'ultimo City Greenhouse Gas Inventario dei gas serra del 2015 (APrA), il totale di GHG della capitale Argentina era pari al 17.5% dell'estensione totale della città, cioè 2.440 dei a 13.934 km2 totali, corrispondenti a 13.113.673 tCO2eq.

Valore suddiviso nei settori dei trasporti (28%), dei rifiuti solidi urbani (14%) e dell'energia (58%) principalmente nel settore residenziale.

Senza politiche più ambiziose nel settore dell'edilizia sarà impossibile arrivare alla formazione di edifici ad emissione zero.



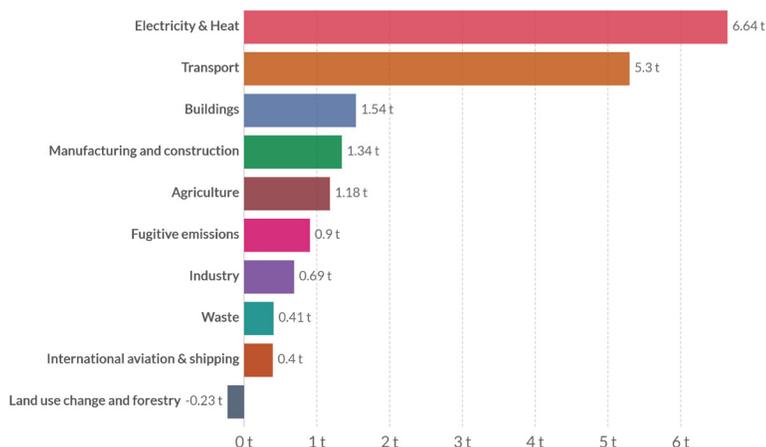
Emissioni GHG edilizia
Source: CAT, ScalingUp Argentina Report, 2019



Capacità di miglioramento Argentina
Source: CAT, ScalingUp Argentina Report, 2019

1.3 Azioni per l'edilizia:

Ai primi posti tra i settori con la più alta produttività di emissioni troviamo a livello mondiale il campo dell'edilizia con il relativo consumo energetico legato all'elettricità e al riscaldamento. Proprio per questo motivo la maggior parte delle politiche riguardanti l'edilizia si sono concentrate principalmente nel caso degli ultimi anni sul miglioramento delle prestazioni della singola architettura.



Emissioni di CO2 pro capite per settore

Source: CAIT Climate Data Explorer via: Climate Watch, tabella Our World Data

L'efficienza energetica rappresenta uno dei modi più efficaci dal punto di vista economico per rafforzare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di altri inquinanti degli edifici. Circa il 40% del consumo finale di energia è assorbito da case, uffici pubblici e privati, negozi e altre categorie di edifici. Nelle abitazioni civili, due terzi dei fabbisogni sono di fatto imputabili al riscaldamento degli ambienti.

Il miglioramento dell'efficienza energetica comporta vantaggi per l'insieme dell'economia e ancor di più per lo sviluppo a livello locale. Proprio per questo motivo le certificazioni energetiche sono il metodo più utilizzato a livello globale per il controllo e lo sviluppo nel campo dell'edilizia.

Gli Stati Uniti negli ultimi 20 anni stanno sviluppando quelli che vengono chiamati i "green code", regole e legislazioni adottate dai singoli stati per rendere le città energeticamente più sostenibili, utilizzando strumenti come l'ENERGY STAR, un'agenzia di protezione dell'ambiente volontaria (EPA), che dà una votazione numerica al singolo edificio poi pubblicata per poter mantenere il controllo sulle varie prestazioni della struttura.

In modo molto simile in Europa si utilizza l'APE (Attestato Prestazione Energetica) che classifica gli edifici in categorie, date da una lettera, e ne attesta l'efficienza energetica.

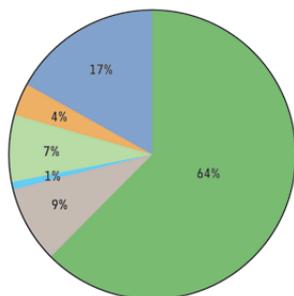
Con questi metodi e l'obiettivo finale comune di migliorare l'economia, l'ambiente e il modo di vivere moltissime città dai primi anni del 2000 hanno avviato i "Climate Action Plan", progetti ad ampia scala che coinvolgono quartieri o intere città e ne migliorano le prestazioni.

Nel 2007 la città di New York avvia l'iniziativa "PlaNYC" con l'obiettivo di ottenere un risparmio di emissioni del 5% entro il 2030 con la creazione di quasi 18000 posti lavoro ed un risparmio di oltre 700 milioni di dollari.

Attraverso finanziati governativi e di privati, il piano consiste nel richiedere ai proprietari degli edifici di conoscere la propria valutazione EPA e di migliorare le prestazioni del consumo dell'acqua, dell'energia e delle emissioni nel corso di 15 anni.

Il piano che sta avendo successo diventa quindi modello per altre città americane come Portland e Chicago che rispettivamente nel 2015 e nel 2018 avviano il proprio Action Plan.

New York City Municipal Greenhouse Gas Emissions
Carbon Dioxide Equivalent in Metric Tons per Year, 2006

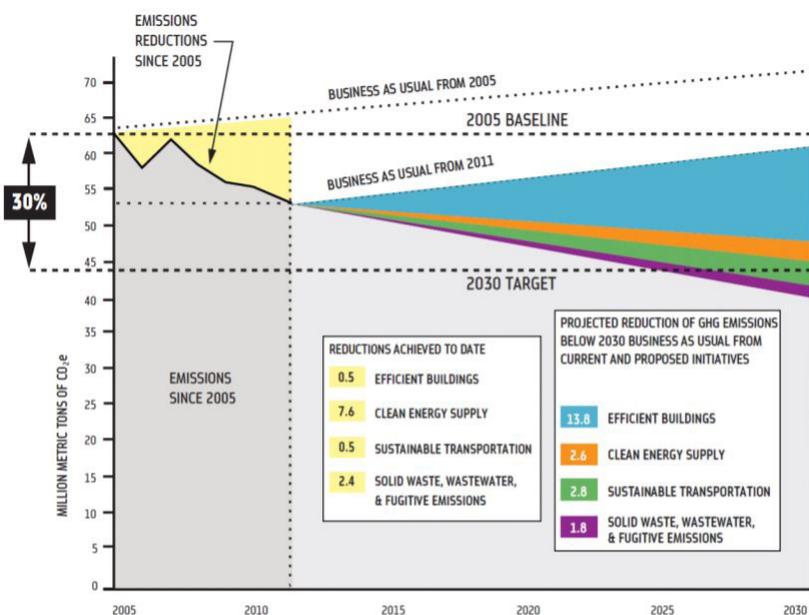


Total: 3.8 million metric tons

- MUNICIPAL BUILDINGS
- MUNICIPAL VEHICLE FLEET
- SCHOOL BUSES
- DSNY LONG-HAUL TRANSPORT
- STREETLIGHTS/TRAFFIC SIGNALS
- WATER AND SEWER

Note: Figures total to 102% due to carbon absorption by waste and independent rounding

Source: NYC Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability



PlaNYC, emissioni della città nel 2006 e gli obiettivi

Source: NYC Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability, rielaborazione personale

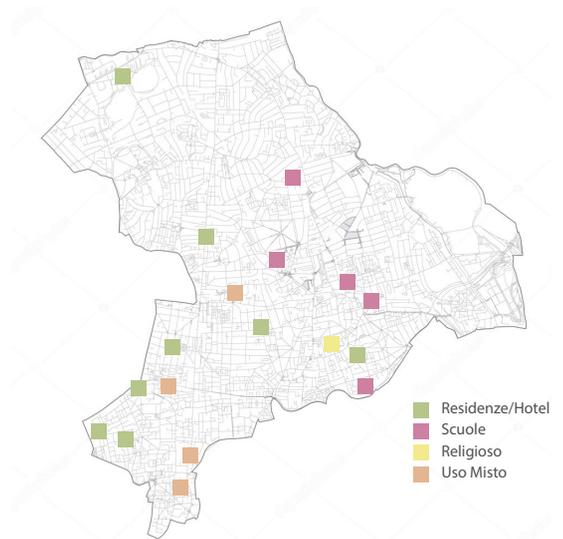
Migliorare esclusivamente le prestazioni di un edificio non è però sufficiente per contrastare la quantità immensa di emissioni prodotte dalla produzione della struttura, valore che risiede nella vita utile dell'architettura, quella che comunemente viene chiamata l'LCA (Life Cycle Assessment). L'LCA è l'energia totale utilizzata per la costruzione, partendo dal consumo generato dalla produzione dei materiali, al trasporto, al montaggio, al suo utilizzo, fino a quella utilizzata per il suo smaltimento.

Nascono quindi all'inizio del secolo iniziative per promuovere la costruzione sostenibile con materiali naturali per avere un impatto minore sull'ambiente. Nel 2013, il quartiere di Hackney di Londra ospita la conferenza "Timber First" per gli architetti e urbanisti del paese diventando la prima autorità locale inglese ad incentivare i professionisti alla costruzione dei nuovi edifici in legno, sponsorizzandone i benefici della velocità di costruzione, del costo e dell'emissioni immagazzinate.

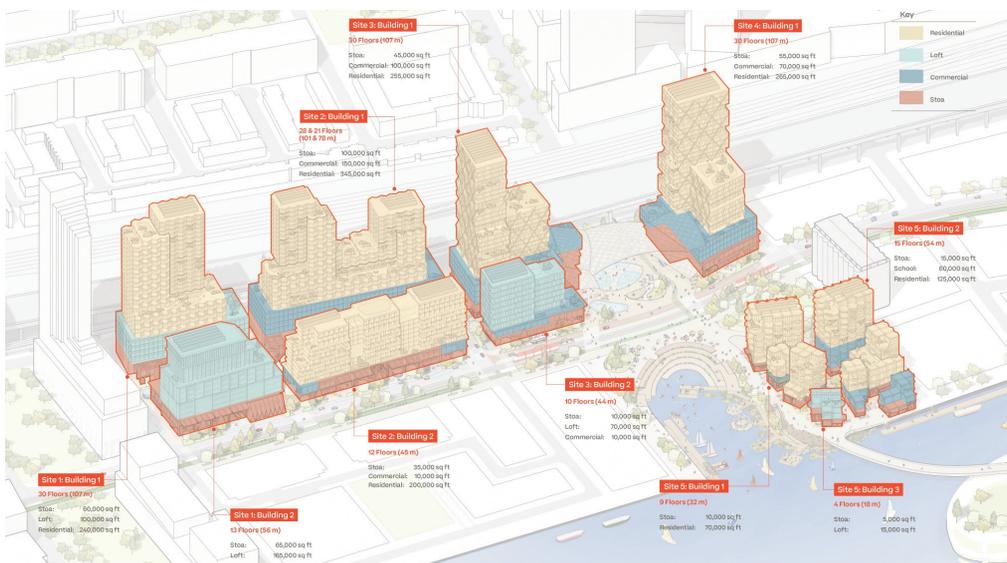
Poco dopo dall'altra parte del mondo, nel 2017, in Canada per la precisione a Toronto, Google progetta la prima Smart city. L'idea è quella di riqualificare tutta l'area portuale in disuso della città e trasformala in un quartiere completamente green con una serie di costruzioni progettati in legno per ridurre l'impatto della nuova "città".

Per raggiungere i suoi obiettivi, mirare ad una comunità a reddito misto basata sulla diversità della città e per dimostrare un percorso verso l'accessibilità e le opportunità economiche nelle città ad alta domanda, il progetto basa la propria strategia su tre parti: la costruzione, gli edifici e l'innovazione abitativa.

Sidewalk Labs propone innovazioni costruttive che accelerano le tempistiche del progetto riducendo i costi e le incertezze, aiutando gli sviluppatori.



TimberFirst, Hackney London
Source: WoodWorks, Vicent Stops 2014, rielaborazione personale



Progetto SideWalk Toronto, Canada, Google SmartCity
Source: SideWalk Toronto

L'approccio della costruzione è basato sulla produzione in fabbrica del legno massiccio, più facile da produrre e migliore per l'ambiente rispetto al cemento o all'acciaio, ma altrettanto forte e resistente al fuoco.

In secondo luogo, propone edifici in grado di soddisfare l'intera gamma di esigenze lavorative e rispondere agilmente quando tali esigenze cambiano includendo spazi adattabili, i "Loft", supportati da pannelli interni flessibili progettati per ridurre i tempi di ristrutturazione e aiutare le comunità a mantenere un vivace mix di aziende e residenti.

Infine, punta nel realizzare un ambizioso programma di accessibilità economica in cui il 40% delle unità ha un costo inferiore al prezzo medio di mercato, con metà delle unità totali del programma costituite da affitti appositamente costruiti per migliorare l'accessibilità a lungo termine.



Progetto SideWalk Toronto, Canada, Google SmartCity
 Source: SideWalk Toronto

SideWalk a Toronto con un totale di 2.65 milioni di ft2 aveva calcolato avrebbe generato oltre 93000 posti di lavoro apportando 4.3 miliardi di dollari in tasse per un totale di 14.2 milioni in GDP.

Purtroppo a causa dell'incertezza economica derivata dalla pandemia portata dal corona virus Google si è ritirata dal progetto bloccandone così l'edificazione.

L'ultimo e nuovissimo progetto sempre sponsorizzato da Google e dalla casa automobilistica Toyota è Woven City, 70 ettari (708.000 mq) alla base del monte Fuji in Giappone. La nuova città, che sarà inaugurata nel 2021, sarà un ecosistema completamente connesso e alimentato da celle a combustibile a idrogeno, pensata come un "laboratorio vivente", servirà da casa a residenti e ricercatori a tempo pieno che potranno testare e sviluppare tecnologie.



Progetto Woven City, Giappone, Toyota SmartCity
Source: toyota

"Costruire una città completa dalle fondamenta, anche su piccola scala come questa, è un'opportunità unica per sviluppare le tecnologie del futuro, compreso un sistema operativo digitale per le infrastrutture della città. Con persone, edifici e veicoli tutti collegati e in comunicazione tra loro attraverso dati e sensori, saremo in grado di testare l'intelligenza artificiale connessa... sia nel mondo virtuale che in quello fisico... massimizzandone il potenziale", ha detto Akio Toyoda, presidente della Toyota Motor Corporation.

Per la progettazione di Woven City, Toyota ha incaricato l'architetto danese Bjarke Ingels, CEO di Bjarke Ingels Group (BIG).

La città è pensata per essere completamente sostenibile, con edifici realizzati per lo più in legno per ridurre al minimo le emissioni di CO₂, utilizzando le tradizionali tecniche di falegnameria giapponese combinate con metodi di produzione robotizzati, i tetti saranno provvisti di pannelli fotovoltaici per generare energia solare oltre a quella generata dalle celle a combustibile a idrogeno.

Le residenze saranno dotate delle più recenti tecnologie di domotica per assistere la vita quotidiana, quali l'intelligenza artificiale basata su sensori per controllare la salute degli occupanti prendendosi cura delle esigenze di base e migliorare la vita quotidiana.

Toyota ha in programma accogliere a Woven City i dipendenti della Toyota Motor Corporation e le loro famiglie, le coppie in pensione, i rivenditori, gli scienziati in visita e i partner del settore. Inizialmente è prevista una popolazione di 2000 persone, che andrà ad aumentare man mano che il progetto si evolve.

Durante il discorso del 16/09/2020 "State of the Union 2020", il presidente della commissione europea Ursula Von Der Leyen riporta: "Our buildings generate 40% of our emissions. They need to become less wasteful, less expensive and more sustainable. And we know that the construction sector can even be turned from a carbon source into a carbon sink, if organic building materials like wood and smart technologies like AI are applied.

This is not just an environmental or economic project: it needs to be a new cultural project for Europe. [...] This is shaping the world we want to live in. A world served by an economy that cuts emissions, boosts competitiveness, reduces energy poverty, creates rewarding jobs and improves quality of life. A world where we use digital technologies to build a healthier, greener society. This can only be achieved if we all do it together and I will insist that recovery plans don't just bring us out the crisis but also help us propel Europe forward to the world of tomorrow."

È dunque richiesto e necessario cambiare, non solo le forme di attuare ma il modo di vivere e di affrontare il problema. Abbiamo numerose forme per poter contrastare il surriscaldamento globale ed è fondamentale che gli stati con le loro politiche facilitino questi cambiamenti per poterli usare in contemporanea ed aumentare le probabilità che realmente funzionino.

1.4 Il Covid-19 sull'ambiente:

Ci troviamo in un periodo storico senza uguali, la pandemia che ha colpito tutto il mondo quest'anno, come la crisi climatica, non si preoccupa né dei confini né della necessità di arricchirsi del singolo, mettendo maggiormente a rischio i più poveri e vulnerabili.

Con leadership come quelle della Cina, concentrata solo sul proprio vantaggio e quella americana, tanto sprezzante nei confronti dell'Organizzazione mondiale della sanità quanto dell'accordo di Parigi sul clima, nessuna delle due calamità sta ottenendo la risposta internazionale coordinata che merita.

Le due crisi non solo si assomigliano, interagiscono.

In mezzo alla devastazione generale e radicale portata dal virus è emerso, come un punto luminoso, il suo effetto sui gas serra.

La chiusura di fasce dell'economia ha, infatti, portato a enormi riduzioni delle emissioni di gas serra.

Tra gennaio e marzo, la domanda di carbone è diminuita dell'8% e quella di petrolio del 5%, mentre nella sola prima settimana di aprile, le emissioni giornaliere in tutto il mondo sono state inferiori del 17% rispetto al 2019.

Secondo un'analisi del Global Carbon Project, un consorzio di scienziati, le emissioni del 2020 saranno inferiori del 3-13% rispetto a quelle del 2019, per l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) la migliore ipotesi sta in un valore intermedio, l'8%.

Nonostante questi siano i valori migliori di abbassamento di produzione di gas serra dalla seconda guerra mondiale, soli non sono sufficienti a fare la differenza nel riscaldamento totale, ma di certo fanno aumentare la prospettiva allettante di attraversare un confine psicologicamente significativo.

Anche se le persone subiscono enormi cambiamenti nel modo in cui conducono la loro vita, questo triste esperimento ha dimostrato che il mondo dovrebbe compiere ancora più del 90% della decarbonizzazione necessaria per mettersi sulla buona strada per raggiungere l'obiettivo dato dall'accordo di Parigi.

La pandemia ha e sta rilevando sia l'entità della sfida che ci aspetta sia l'opportunità unica di attuare politiche governative che possano allontanare l'economia dal carbonio.

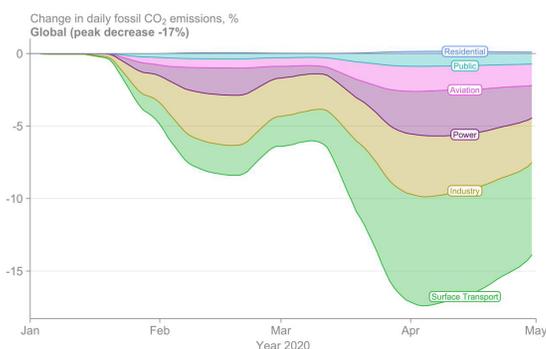
La pausa obbligata dal Covid-19 non è intrinsecamente rispettosa del clima.

L'America infatti ha allentato ulteriormente le sue regole ambientali durante la pandemia mentre la Cina, il cui stimolo per l'industria pesante ha fatto impennare le emissioni globali dopo la crisi finanziaria globale, continua a costruire nuove centrali a carbone.

Il virus ha dimostrato che le basi della prosperità sono precarie. I disastri di cui si parla da tempo, da sempre ignorati, possono colpire senza preavviso capovolgendo la vita e scuotendo tutto ciò che sembrava stabile. Il danno del cambiamento climatico sarà più lento della pandemia ma più massiccio e duraturo.

"Se c'è un momento in cui i leader devono mostrare coraggio nell'affrontare il disastro ambientale, è questo. Non avranno mai un pubblico più attento." The Economist, 23 Maggio 2020.

Il costo delle energie rinnovabili sta scendendo al di sotto di quello dei nuovi impianti a combustibili fossili in gran parte del mondo e dopo anni di sviluppo, i veicoli elettrici sono finalmente pronti per il mercato di massa. In tali circostanze, il Covid-19 può stimolare le decisioni da parte di individui, aziende, investitori e governi per accelerare il declino dei combustibili fossili.



Emissioni diarie CO₂ globali nel periodo di lockdown
Source: Global Carbon Project, 2020

Senza costi per il carburante e l'accesso preferenziale alle reti elettriche concesso da alcuni governi, la domanda rinnovabile è aumentata dell'1,5% nel primo trimestre e la Energy Information Administration americana prevede che quest'ultime supereranno per la prima volta quest'anno la quota di produzione di energia prodotta dal carbone negli Stati Uniti.

Coloro che vedono la domanda di combustibili fossili continuare a salire con la crescita delle popolazioni e delle economie hanno ipotizzato che la domanda di petrolio sarà molto più persistente di quella del carbone. Il carbone è quasi interamente utilizzato come fonte per la produzione di elettricità, il che lo rende maturo per la sostituzione con le energie rinnovabili, mentre il petrolio è ancora difficile da sostituire.

Tra le tante prove che la pandemia ha sottoposto l'umanità, vi è lo "smart working". Si è quindi conferma la possibilità di poter lavorare da casa, diminuendo così gli spostamenti e di conseguenza le emissioni, abbassando di un altro 8% la domanda di petrolio.

Il 7 aprile, secondo il Global Carbon Project (GCP), è stato il giorno "picco" dello stop imposto dal Covid-19. Il mondo intero si è fermato per sole 24 ore, gli Stati Uniti si sono bloccati e il giorno dopo la Cina ha ripreso le sue attività. In un solo giorno la quantità di diossido di carbonio è stata il 17% in meno rispetto alla media giornaliera del 2019, pari a 11 milioni di tonnellate di anidride carbonica.

In un solo giorno si è riuscito ad avere un risultato che gli ambientalisti provano ad ottenere da anni cercando di sensibilizzare i cittadini e i politici.

Nonostante ciò gli esperti affermano che con la fine dei blocchi in tutto il mondo, l'uso di combustibili sporchi aumenterà nuovamente, come in Cina. Le emissioni di energia non aumentano più al passo della crescita economica, ma la domanda di combustibili fossili rimane legata ad essa.

Ad aprile l'Ipsos MORI, la società di ricerca di mercato londinese, ha chiesto a persone di 14 paesi diversi se pensavano che il cambiamento climatico fosse una minaccia altrettanto grave come Covid-19. Il più grande consenso è stato in Cina, dove l'87% ha convenuto che lo fosse, mentre in America, dove il consenso era più basso, il 59% è d'accordo. Quasi due terzi di questi ha continuato dicendo che era importante che le azioni del governo per la ripresa economica fossero finalizzate a dare la priorità al cambiamento climatico.

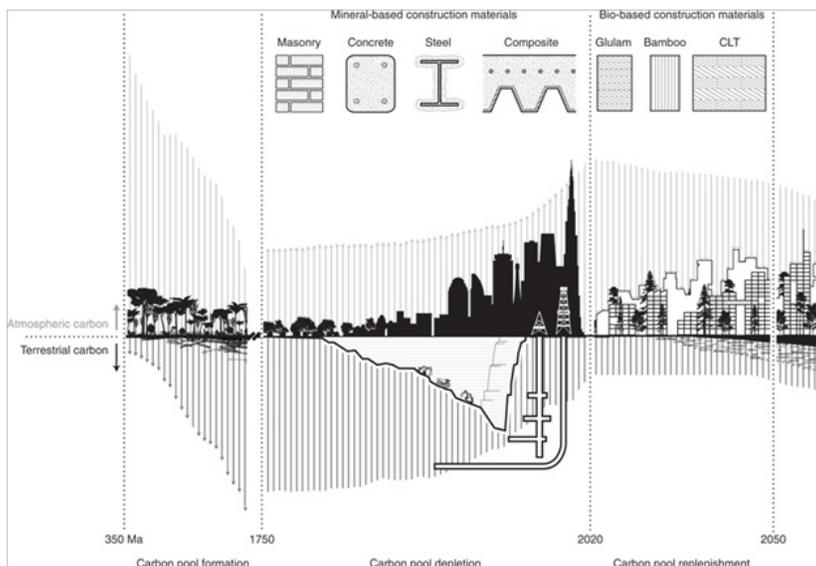
CAPITOLO 2

**EFFETTI CLIMATICI GENERATI DALLE CITTÀ E
LE POSSIBILI SOLUZIONI PER
MITIGARNE GLI EFFETTI :**

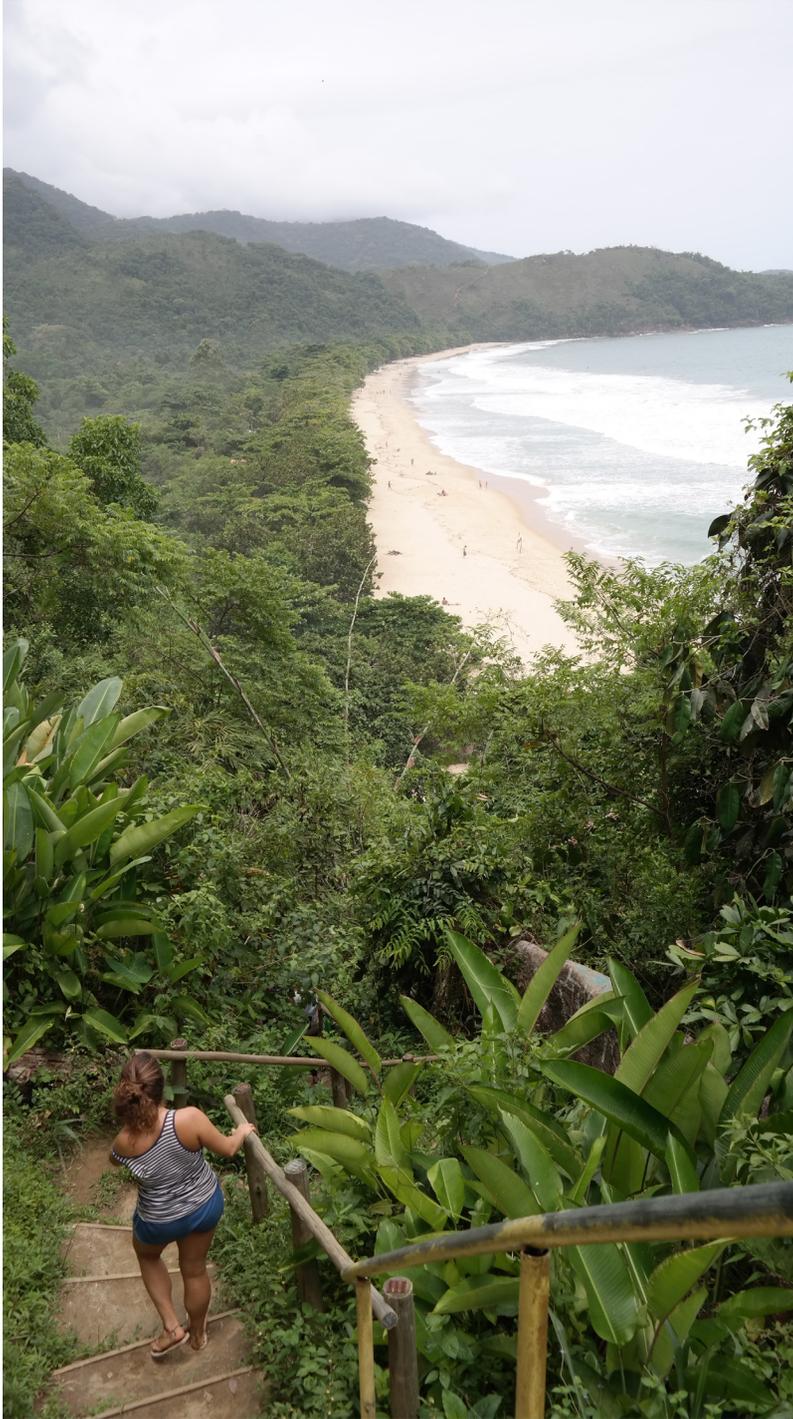
Gli attuali tassi di combustione dei combustibili fossili hanno superato di gran lunga i tassi di sequestro del carbonio nelle foreste, creando la necessità per i governi nazionali di presentare obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) come parte degli obblighi previsti dall'accordo di Parigi del 2015. Tuttavia, anche se tutti i governi dovessero rispettare i propri impegni, le emissioni antropogeniche di CO₂ supererebbero la gamma di bilancio del carbonio associata all'accordo.

Dato che limitare le emissioni non è solo sufficiente, l'IPCC ha presentato schemi di estrazione del carbonio a larga scala, principalmente basati sulla bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio in pozzi naturali presenti negli oceani e in alcune aree della terra ferma, che dovrebbero conciliare il bilancio.

L'instabilità di quest'ultimi ha portato alla proposta, da parte di sempre più professionisti, della creazione di pozzi di carbonio globali artificiali e durevoli nelle costruzioni attraverso l'utilizzo di materiali, tecnologie e insiemi di costruzioni a base biologica con elevata capacità di stoccaggio e basse emissioni incorporate.



Pozzi di Carbonio
Source: Perspective, Nature Sustainability



Mangaraciba, Brasile 2016
Source: Isotta Matassoni

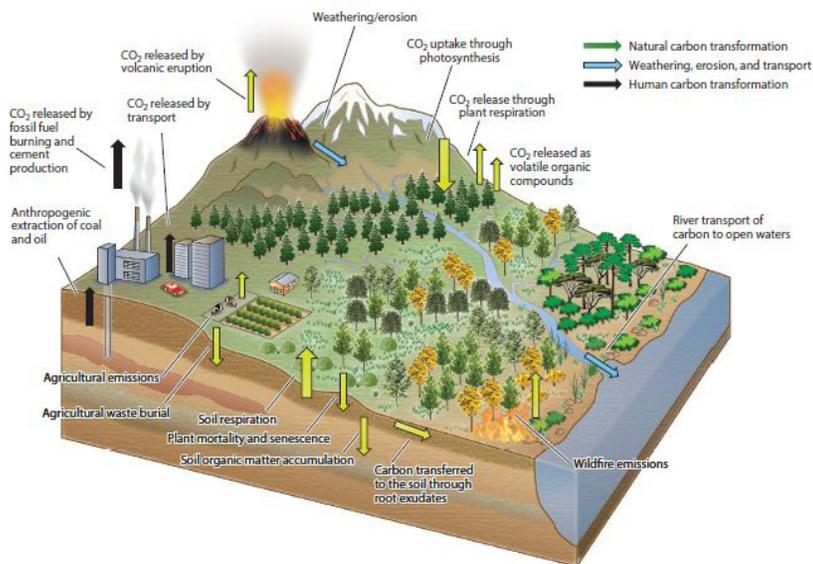
2.1 Stoccaggio naturale del carbonio:

La vita sulla Terra si presenta in molte forme, ma tutte condividono un elemento comune, il carbonio.

Come tutta la materia, il carbonio non può essere né creato né distrutto, ma viene continuamente scambiato tra ecosistemi e ambiente attraverso una complessa combinazione di fisica e biologia, questo equilibrio è chiamato ciclo terrestre del carbonio.

Per questo motivo negli ultimi decenni, con l'aumento di anidride nell'aria, dovuto all'avvento dell'uomo in particolare della rivoluzione industriale, questi scambi, hanno portato ad una maggior rimozione di carbonio dall'atmosfera che è stata immagazzinata nel suolo e negli oceani così detti pozzi di carbonio naturali.

Ogni anno, le piante, attraverso il processo di fotosintesi, rimuovono circa un quinto del carbonio presente nell'atmosfera, valore maggiore rispetto a quello emesso attraverso la combustione di combustibili fossili, classificandosi come una tra le maggiori fonti di sostentamento per la vita sulla Terra, rallentando il tasso di accumulo di CO₂ nell'atmosfera e quindi il tasso di cambiamento climatico.



Flussi del ciclo del Carbonio

Source: T.F.Keenan, C.A.Williams, The terrestrial carbon sink, Annual Review of Environment and Resources

Una foresta, un oceano o un altro ambiente naturale hanno la capacità di sequestrare il carbonio da piscine labili di breve durata, come foglie e hummus, e spostarle a piscine di lunga durata con tempi di "turnover" lenti, come sedimenti di biomassa o materia organica recalcitrante presenti nel suolo.

La capacità di sequestrare il carbonio è determinata dal bilancio di tempo che un ecosistema trascorre in un pozzo o in una fonte di carbonio ed è definito in base alla capacità di un ecosistema di assorbire CO₂ dall'atmosfera.

Un ecosistema può essere un pozzo di carbonio un anno e fonte in un altro, ma deve essere un pozzo per lunghi periodi di tempo per avere la capacità di sequestrare CO₂ dall'atmosfera.

Tale quantificazione è detta bilancio netto del carbonio dell'ecosistema (NECB) e rappresenta gli scambi di carbonio tra un ecosistema e il suo ambiente.

Essa viene calcolata come la quantità totale entrante, meno il carbonio totale uscente, in un intervallo di tempo specificato.

$$NECB = (C_e - C_u) / t$$

Il flusso fotosintetico del carbonio è indicato come produttività primaria lorda (GPP), equivalente alla fotosintesi meno la foto respirazione e fornisce il carbonio necessario per produrre e mantenere la biomassa.

La sommatoria di AR (respirazione autotrofica) e HR (respirazione eterotrofica) fornisce la respirazione totale dell'ecosistema (RE), che equilibra la produzione primaria lorda, necessaria per fornire la produzione netta dell'ecosistema (NEP).

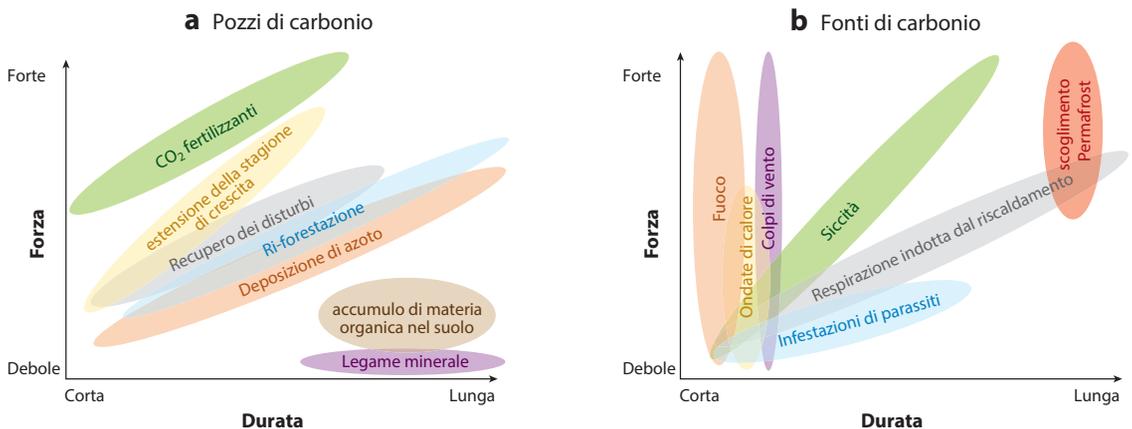
$$RE = AR + HR$$

$$NEP = GPP - RE \begin{cases} > 0 \text{ stoccaggio} \\ < 0 \text{ rilascio} \end{cases}$$

A causa delle difficoltà nella quantificazione del NECB e della separazione concettuale delle influenze antropogeniche dirette e indirette sugli ecosistemi naturali, la ricerca si concentra spesso anche sul bacino terrestre residuo (RTS), definito come l'accumulo annuale totale di carbonio nel biosfera terrestre. In genere calcolato come il residuo delle emissioni di fossili, produzione di cemento e cambiamenti nell'uso del suolo meno il pozzo oceanico e la crescita atmosferica di CO₂.

Gli ecosistemi globali sono in uno stato di flusso costante, con crescita e riproduzione in competizione con il consumo e la mortalità.

In assenza di perturbazioni, tali sistemi tendono inevitabilmente a uno stato di quasi equilibrio, in cui gli afflussi di carbonio sono accompagnati da deflussi e il dissipatore netto di carbonio è pari o quasi a zero.



Influenti responsabili per la formazione di pozzi di carbonio e fonti di carbonio
Source: T.F. Keenan, C.A. Williams, The terrestrial carbon sink, Annual Review of Environment and Resources

Sebbene gli ecosistemi convergano naturalmente all'equilibrio, quest'ultimi si trovano raramente in natura, specialmente nel mondo postindustriale, mentre esistono quelli in disequilibrio dinamico, cioè quelli che cercando continuamente di raggiungere un equilibrio approssimativo ma non ci arrivano mai del tutto.

Disturbi causati da cause naturali come incendi o impatti antropici come la deforestazione, alterano le dimensioni dei pool di carbonio e la funzione dell'ecosistema influenzando il tempo necessario per raggiungere l'equilibrio.

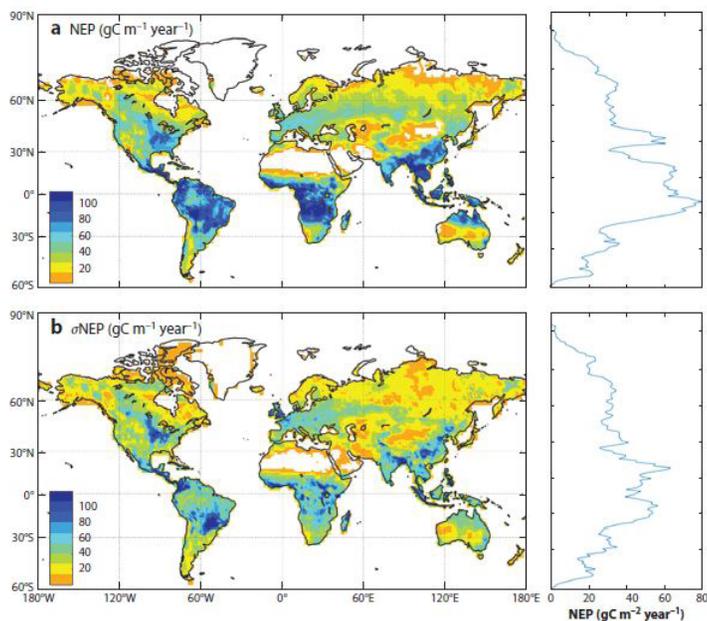
Il rapporto tra il tasso di crescita della CO₂ atmosferica e le emissioni antropogeniche, chiamato frazione aerotrasportata, è proporzionale alla resistenza del pozzo biosferico.

La frazione aerotrasportata è altamente variabile e presenta ampie oscillazioni da un anno all'altro. Tuttavia, ha mantenuto una media a lungo termine vicina al 40% negli ultimi 50 anni.

Questo squilibrio tra emissioni e tasso di crescita della CO₂ atmosferica suggerisce un grande e persistente assorbimento biosferico.

Si stima che l'RTS abbia rimosso una media di 3,61 Pg C l'anno nell'ultimo decennio, circa il 52,7% in più rispetto al bacino oceanico (2,36 Pg C l'anno) che corrispondono solo al 34% delle emissioni antropogeniche combinate derivanti dalla combustione di combustibili fossili, dalle attività industriali e dalle emissioni dei cambiamenti di uso del suolo (10,69 Pg C l'anno).

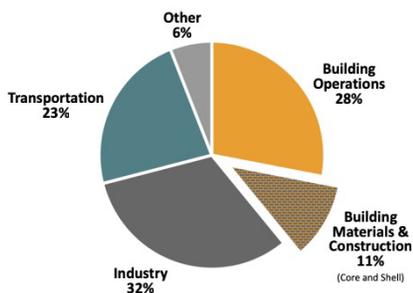
Su scala globale, le misurazioni atmosferiche ci dicono che il pozzo terrestre è grande e in aumento ma è chiaro che solo non sia sufficiente a soddisfare le esigenze di una continua e progressiva emissione di CO₂ da parte dell'uomo.



Distribuzione annuale produzione mondiale di carbonio
Source: T.F.Keenan, C.A.Willimas, The terrestrial carbon sink, Annual Review of Environment and Resources

2.2 Emissioni e stoccaggio dei materiali da costruzione, il footprint e i carbon sink:

Non essendo i pozzi di carbonio naturali sufficienti a stoccare le emissioni di un mondo in crescita è dunque necessario combinarli con altre soluzioni artificiali. Quando parliamo di edilizia diminuire la diffusione di CO₂ significa diminuire la quantità dovuta alla produzione del singolo materiale, del suo trasporto e del suo montaggio.



Emissioni CO₂ globali per settori
Source: Global Alliance for Buildings and Construction. 2018 Global Status Report

Un recente studio ha concluso che se la popolazione globale aumentasse, come già predetto, a 9.3 miliardi entro il 2050, il "Carbon footprint", il parametro che stima la quantità di gas serra emessi per la realizzazione di un determinato prodotto, derivante dallo sviluppo di nuove infrastrutture potrebbe richiedere il 35-60% del restante budget di carbonio basato sulla limitazione di un aumento della temperatura globale a 2 ° C.

Questo perché la costruzione attuale si basa su un'edilizia fondata sul cemento armato e l'acciaio che richiedono grandi quantità di energia per essere prodotte.

Nonostante ciò i futuri miglioramenti dell'efficienza energetica per tonnellata di materiale saranno limitati al 24% per l'acciaio e al 13% per il cemento, la sostituzione dei combustibili fossili con fonti di energia rinnovabile non ridurrà mai le emissioni di CO₂ della produzione di acciaio e cemento a zero a causa delle emissioni derivanti dalle reazioni chimiche associate quali la calcificazione nella produzione di cemento e uso di coke dal carbone per ridurre l'ossido di ferro

nella produzione di acciaio, che già nel 2014 erano pari a 1.320 MtCO₂ per cemento e 1.740 MtCO₂ per acciaio.

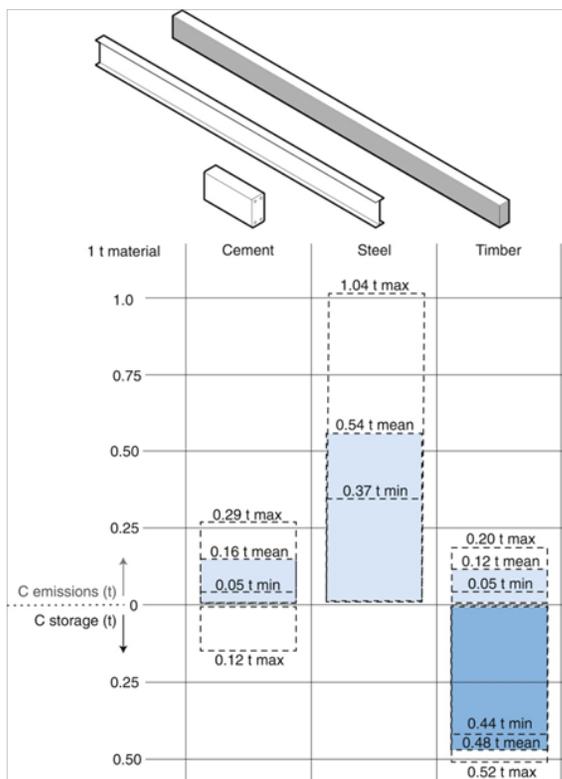
Per la produzione di cemento, circa il 60% delle emissioni totali deriva infatti dalla calcinazione.

Mentre la domanda di energia associata alla produzione di acciaio potrebbe essere ridotta del 60-95% utilizzando materie secondarie ma è limitata al 30-40% dell'input primario a causa del ritardo di diversi decenni tra il primo utilizzo dei prodotti metallici e la fine della loro vita utile. Il tasso di riciclo di fine vita dell'acciaio nelle costruzioni è dell'85% con incrementi di efficienza previsti fino al 90% entro il 2050. Ulteriori incrementi di efficienza nel riciclo dell'acciaio non modificheranno l'entità dei vecchi rottami disponibili se la domanda continua a crescere nello stesso periodo.

La costruzione contemporanea in tutto il mondo ha due ulteriori impatti poco studiati ma rilevanti sul ciclo del carbonio: in primo luogo, la produzione di cemento, asfalto, vetro e così via che richiede enormi quantità di sabbia estratta dalle spiagge, fiumi e fondali marini; in secondo luogo, l'estrazione mineraria che porta ad una deforestazione locale estesa. L'estrazione di sabbia non solo esercita una pressione sostanziale sui depositi disponibili, che sono diventati una risorsa globale sempre più scarsa, ma compromette anche la capacità di assorbimento del carbonio degli ecosistemi acquatici disturbati durante l'estrazione.

Pertanto, la domanda del settore edile globale contemporaneo di materiali da costruzione rimane una delle principali fonti di emissioni di gas a effetto serra.

Gli edifici, progettati per rimanere per decenni, sono un'opportunità trascurata per lo stoccaggio a lungo termine del carbonio, poiché i materiali da costruzione più utilizzati come acciaio e cemento difficilmente immagazzinano carbonio.



Carbonio stoccato ed emesso nella produzione dei materiali
 Source: Galina Churkina, Alan Organschi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E. Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019

È dunque indispensabile iniziare ad utilizzare materiali nuovi nella costruzione, materiali biologici che abbiano la capacità intrinseca di stoccare grandi quantità di carbonio e sfruttare l'enorme potenzialità insita nel mondo dell'edilizia come ad esempio le costruzioni lignee.

L'uso del legno tondo o del legno massiccio segato o sagomato faceva parte di una lunga storia preindustriale di edifici. Sebbene le applicazioni strutturali del legno continuino oggi, principalmente sotto forma di strutture a telaio leggero associate a edifici residenziali a pochi piani, l'uso di legno massiccio pesante per edifici a più piani industriali e commerciali è diminuito alla fine del XIX secolo e XX secolo con l'arrivo e l'utilizzo dell'acciaio.

Nel corso degli anni, le tecnologie di costruzione dell'acciaio e del cemento armato sono diventate più raffinate e i combustibili fossili che hanno fornito energia di produzione per i processi di produzione ad alta intensità di calore sono diventati sempre più

economici ed abbondanti.

Nell'era moderna della costruzione commerciale su larga scala, in cui una professione di ingegneria sempre più standardizzata cercava l'uniformità e la prevedibilità del materiale strutturale, l'eterogeneità intrinseca del legno divenne una responsabilità troppo grande.

Le caratteristiche di resistenza anisotropa create dalla struttura del grano del legno, il suo assorbimento igroscopico e adsorbimento del vapore acqueo, nonché la sua espansione e contrazione con oscillazioni dell'umidità ambientale, sono state viste come difetti portando quindi l'edilizia a privilegiare altri materiali.

La variabilità delle proprietà e dei requisiti di lavorazione delle diverse specie di legno ha creato ulteriori barriere all'applicazione del legno nella progettazione strutturale contemporanea.

Sebbene le proprietà carbonizzanti e resistenti al fuoco dei grandi legni strutturali siano riconosciute nella maggior parte dei codici di costruzione internazionali, la prevalenza di incendi negli edifici in legno a struttura leggera ha favorito l'associazione popolare di costruzioni in legno con catastrofiche conflagrazioni urbane. Nessun materiale è intrinsecamente migliore per resistere all'esposizione al fuoco o a potenziali eventi sismici catastrofici o meteorologici.

Gli edifici sono sistemi di materiali e connessioni che devono essere progettati in modo esaustivo per rispondere alle stime delle sollecitazioni. L'acciaio per costruzioni edili è estremamente resistente, ma è soggetto a corrosione / ossidazione se esposto ad acidi presenti nell'aria o all'acqua o a rottura se esposto al fuoco. Il calcestruzzo ha un'elevata resistenza a compressione, ma poca capacità di trazione e quindi deve essere ibridato nelle applicazioni strutturali per includere l'acciaio di rinforzo come elemento di trazione per proteggerlo dalle rotture, che a sua volta, deve essere attentamente progettato e posizionato rispetto alla superficie dell'elemento strutturale in calcestruzzo per evitare corrosione o cedimento in caso di incendio.

Il legno invece è sì un combustibile, ma in grandi sezioni forma uno strato carbonizzante auto protettivo quando esposto al fuoco. Deve quindi essere dimensionato per anticipare un potenziale strato carbonizzante che proteggerà il rimanente nucleo di "legno

freddo" per fornire una struttura di costruzione sotto carichi di fuoco estesi.

Il cedimento degli edifici, come è stato giustamente dimostrato storicamente, è dapprima dovuto al fallimento dell'ingegneria del sistema, quindi al guasto del materiale.

Grazie agli enormi avanzamenti tecnologici, sono sempre di più gli edifici costruiti con quello che viene chiamato legno massiccio.

Con legno massiccio ci si riferisce a prodotti in legno ingegnerizzato che sono laminati da pannelli più piccoli o lamelle in componenti strutturali più grandi.

CLT_CROSS LAMINATED TIMBER



Struttura CLT
Source: ThinkWood

Dimensioni massime di circa 350 cm x 1500 cm con spessori tra 0 e 50 cm.

Assi di legno stratificato (3,5,7 strati) impilati trasversalmente ad angoli di 90 gradi e incollati in posizione con giunti a dita e adesivo strutturale.

La capacità dei pannelli di resistere a forti sollecitazioni e forze di compressione li rende particolarmente convenienti per applicazioni di pavimenti, pareti e coperture.

GLULAM_ GLUE LAMINATED TIMBER



Struttura GLULAM
Source: ThinkWood

Dimensioni massime di circa 24x 40cm con un'altezza massima di 13,50 m.

Lamelle di legno posizionate in base alle loro caratteristiche prestazionali di stress, unite tra loro nelle estremità, consentendo lunghe portate ed incollate con adesivi durevoli e resistenti all'umidità. I grani delle lamelle corrono paralleli alla lunghezza dell'asta per migliorarne la resistenza rendendolo conveniente per la formazione di travi e pilastri.

NAIL LAMINATED TIMBER



Struttura NLT
Source: ThinkWood

Pannelli di dimensione massima di 3.6x30m con uno spessore tra 10 e 30cm.

Singole lamelle fissate meccanicamente da chiodi o viti.

Il prodotto in legno di massa non richiede un impianto di produzione dedicato ciò consente l'utilizzo di legname dimensionale immediatamente disponibile come quello di provenienza locale.

Usato per pavimenti, terrazze, tetti e pareti, nonché vani ascensore e scale.

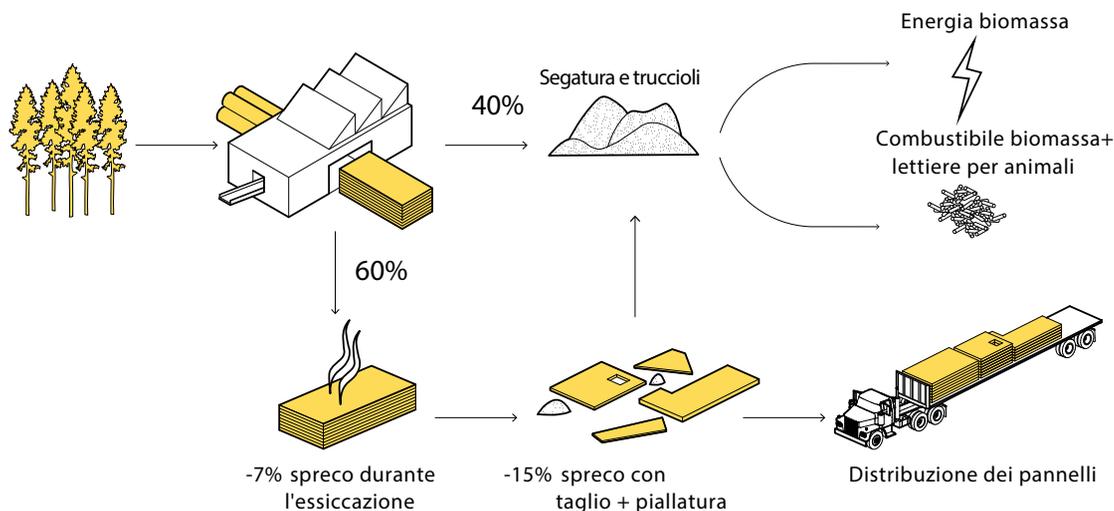
DOWEL LAMINATED TIMBER



Struttura DLT
Source: ThinkWood

Simile al NLT ma senza l'uso di viti o chiodi. Pannelli di legno di conifera impilati come per NLT che si adattano per attrito insieme ai tasselli di legno duro. I tasselli tengono insieme le assi e l'attrito, ottenuto grazie al diverso contenuto di umidità dei pannelli in legno tenero e dei tasselli in legno duro, offre un'ulteriore stabilità dimensionale.

I metodi di produzione in legno di massa che includono giunti a dita, laminazione longitudinale e trasversale con adesivo liquido e dispositivi di fissaggio meccanici hanno consentito la riformulazione di legni strutturali di grandi dimensioni. Questi nuovi approcci affrontano le incoerenze naturali del legno e rendono più prevedibili le sue prestazioni meccaniche nei grandi elementi strutturali. Tavole o lamelle più piccole, facilmente ispezionabili, classificabili e con difetti identificati e rimossi, possono essere distribuite in una sezione trasversale strutturale in base alle caratteristiche di resistenza e ai requisiti specifici di carico.



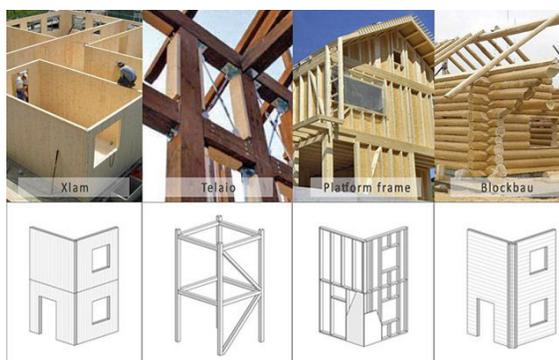
Produzione CLT
 Source: Think-Wood-Publication-100-Projects-UK-CLT, Waugh Thistleton Architects, 2018

Questo approccio ottimizza sia la resa produttiva della fibra di legno sia la resistenza dei componenti strutturali.

Come per altri materiali, la sicurezza antincendio degli edifici in legno dipende da diversi fattori, tra cui soprattutto la progettazione dell'edificio per quanto riguarda il comportamento al fuoco, la gestione dei sistemi di sicurezza antincendio, le vie di uscita durante l'evacuazione, e le appropriate applicazioni di materiale resistente al fuoco. I numerosi test antincendio internazionali di travi lamellari e strutture CLT hanno dimostrato la resistenza al fuoco in edifici alti fino a 18 piani.

La recente comparsa di queste tecnologie, delle ricerche tecniche e delle revisioni normative che ne sono alla base dimostrano che i prodotti in legno e i sistemi strutturali progettati offrono un potenziale sostituito di gran parte dei materiali a base minerale nella costruzione di edifici urbani.

La scelta di una struttura in legno può avvenire per diversi motivi: un passato culturale come possono essere le case residenziali negli Stati Uniti o nella cultura alpina o nordica in generale, per una grande quantità di materia prima nelle vicinanze del luogo di costruzione, per ragioni puramente estetiche o perché si vogliono generare fluide e naturali che con altri materiali sarebbe difficile ricreare, oppure per creare una architettura compatibile con l'ambiente.



Tecniche costruttive in legno
 Source: infobuild.it

Il legno è infatti composto per circa il 50% da carbonio, 44% ossigeno e 6% di idrogeno. Utilizzare questo materiale nella costruzione di qualsiasi elemento, significa realizzare un vero e proprio magazzino di carbonio, che, in caso contrario, sarebbe finito in atmosfera una volta terminata la vita dell'albero.

Nelle case in legno, il carbonio rimane intrappolato per tutto il tempo di vita dell'abitazione e ancor di più se quel legno viene poi riutilizzato o riciclato per la realizzazione di altri prodotti.

Ciò che è più incredibile è che il legno, se utilizzato correttamente, è in grado di immagazzinare più carbonio di quanto ne viene emesso per le operazioni di raccolta, trasformazione, trasporto e montaggio che lo trasformeranno in una casa.

$$P_{CO_2} = \frac{44}{12} \times 0.5 \times \frac{P_w \times V}{1 + \frac{W}{100}}$$

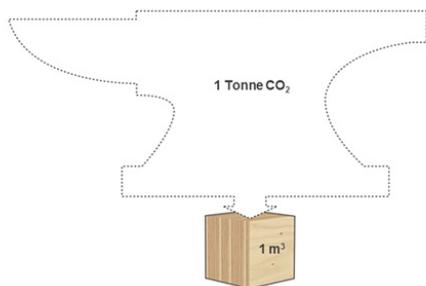
massa volumica del legno (Kg/m³)
 coefficiente riferito alla massa atomica del C nella molecola di CO₂
 frazione di C nel legno
 volume di legno (m³)
 umidità del legno (%)
 quantità di anidride carbonica stoccata da un prodotto (Kg)

La quantità di anidride stoccata cambia a seconda della tipologia di legno utilizzato. A legni con densità più alta corrisponde uno stoccaggio maggiore.

Specie	Densità al 12% di umidità Kg/m ³
Abete rosso	460
Douglasia	530
Larice	600
Betulla	660
Castagno	590
Faggio	710
Rovere	680

In generale si calcola che:

1 m³ di legno stocca circa 1 tonnellata di CO₂.



2.3 Approcci Europei e Nord Americani all'utilizzo del

legno in costruzione :

I grattacieli in legno sono un fenomeno dell'inizio del XXI secolo, reso possibile dallo sviluppo di nuove tecnologie che utilizzano un legno ingegnerizzato. I regolamenti edilizi in molte giurisdizioni attualmente limitano le strutture in legno a non più di 4 o 6 piani; tuttavia, i limiti tecnici della costruzione in legno sono aumentati a 40 e più piani grazie alle recenti innovazioni.

Le attuali preoccupazioni per le questioni climatiche insieme ad un crescente riconoscimento dell'impatto positivo sull'ambientale delle costruzioni in legno, che includono basse emissioni di carbonio nella lavorazione e un massiccio stoccaggio di carbonio, hanno attirato l'interesse per un maggiore utilizzo del legno nella costruzione e che hanno permesso la concessione di esenzioni dei codici edilizi classici in molti comuni americani ed Europei.

In città in continuo sviluppo, dove lo spazio è sempre più limitato e la richiesta di strutture in altezza è ogni giorno sempre maggiore, sono in molti a sperimentare su costruzioni lignee con altezze importanti.

I grattacieli in legno offrono l'opportunità di collegare le risorse rurali con le comunità urbane sostenendo, così a loro volta, il ripristino delle foreste, promuovendo la bioedilizia e affrontando la riduzione delle emissioni di carbonio. Tuttavia, questo è ancora un campo estremamente nuovo che richiede una considerazione ponderata sulle domande della durata, delle prestazioni e dell'impatto a lungo termine, insomma è un settore ancora tutto da scoprire. Proprio per questo numerosi architetti e ingegneri già da anni stanno sperimentando nuove tecnologie e combinazioni di legni per trovare la soluzione ottimale e garantire la completa sicurezza, con continue valutazioni, collaudi e report, in nuovissime strutture che giorno dopo giorno stanno prendendo sempre più piede nello scenario mondiale offrendo una possibilità valida al futuro della costruzione e dell'ambiente.

Progettare in legno significa in sintesi progettare edifici più leggeri che dunque richiedono una escavazione minore per le fondazioni e di conseguenza una minor quantità di materiale per la realizzazione, edifici che hanno la possibilità di essere costruiti interamente in fabbrica per poi essere solamente montati in maniera estremamente veloce in loco, edifici resistenti e sicuri ed infine ma non per importanza, edifici ecologicamente sostenibili, che non solo non gravano sulla situazione ambientale, ma la migliorano stoccando anidride carbonica al loro interno generando quelli che vengono definiti pozzi di carbonio artificiali, i carbon sink.

Di seguito sono riportati alcuni dei progetti di edifici in legno sviluppati in altezza che sono stati e vengono utilizzati ad oggi come modello per la costruzione.



WDC
Source: Michael Green, 2014



WIDC
Source: Michael Green, 2014



WIDC
Source: Michael Green, 2014

WIDC- WOOD INNOVATION AND DESIGN CENTER

Michael Green Architecture

Luogo: Prince George, BC

Anno: 2014

Area: 4820 m²

Altezza: 29.5m

Struttura: Nucleo e solai in CLT+travi e pilastri in GLU-LAM e PSL+rivestimento in LVL

Manufacturers: Tremco, GE Lighting, Guardian Glass, Insulspan, Jaga, Kawneer, Oregon Lumber Company, Sansin, Brisco Wood Preservers, Flame Control, Hunter Douglas, Morinwood, Quantum Chemical, Sedia, Structurlam

Costo: \$25 milioni

WIDC (WOOD INNOVATION AND DESIGN CENTER)

Situato in Prince George, BC, Canada e realizzato nel 2014, il progetto nasce dalla volontà di creare uno "showcase" della British Columbia, di tutte le esperienze legate alla sperimentazione e all'innovazione nel campo della strutture in legno.

L'edificio occupa 4820 m² ed è alto 29,5m, valore che l'ha reso al momento della costruzione l'edificio ligneo più alto al mondo.

Con i suoi sei piani, più uno ammezzato al primo livello e l'attico, il WIDC ospita l'University of Northern British Columbia (UNBC) e gli uffici dell'Emily Carr University of Art + Design Center for Design Innovation and Entrepreneurship.

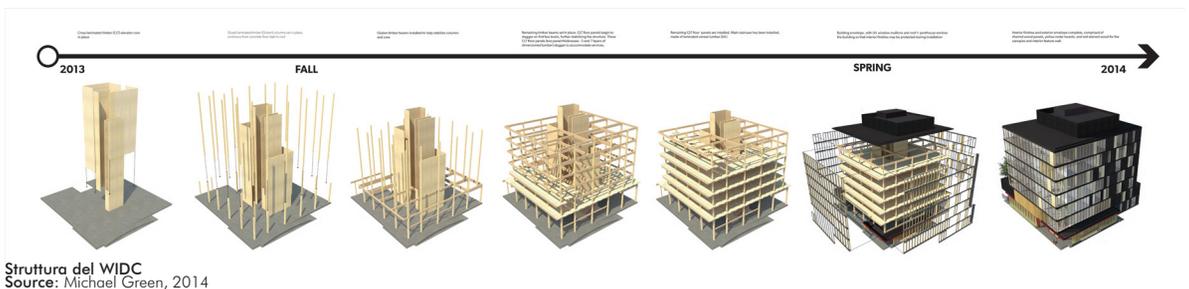
Progettato dallo studio di architettura di Michael Green, professionista con una lunga esperienza alle spalle di costruzioni in legno in collaborazione con oltre 20 appaltatori e 10 consulenti, il progetto a fine della sua costruzione ha coinvolto oltre 250 persone di settori diversi, dall'industria provinciale al settore forestale a quello della costruzione e del design.

Il WIDC è stato definito dallo stesso architetto come un progetto completo, ciclico, che partendo dal seme dell'albero parte dalla foresta dove viene tagliato per poi essere lavorato, testato e assemblato fino ad diventare la nuova sede dei futuri costruttori della città.

Il nuovo centro ha richiesto per la sua realizzazione molte innovazioni, nel campo tecnologico, in quello strutturale e architettonico e anche nel campo della burocrazia. Il progetto ha infatti richiesto l'approvazione di due autorità separate, quella della città e quella della provincia.

PUNTI DI FORZA:

- completamente costruito in legno
- studio resistenza al fuoco e isolamento acustico per la tecnologia utilizzata
- showcase tecnologie
- oltre 250 persone coinvolte nei lavori
- struttura prefabbricata
- rigenerazione della foresta canadese
- stoccaggio 980t CO₂



La particolarità che ha reso questo edificio così importante e l'ha trasformato in un modello riproducibile sta nella motivazione principale della sua realizzazione, la necessità di farne un catalogo della costruzione in legno. Per riuscire a mostrare tutte le innovazioni è stata realizzata una struttura interamente a secco, tranne le fondazioni e il pavimento del piano terra e dei locali tecnici nell'attico, con una combinazione di 3 sistemi costruttivi.

Il nucleo centrale in CLT, travi e pilastri in Glulam, per le luci maggiori travi in PSL, e il rivestimento interamente costituito da pannelli LVL.

Per enfatizzare ancora di più il reale protagonista del progetto, ove possibile, tutto il legno, sia quello strutturale che quello di rivestimento, è stato lasciato a vista.

Questo, chiaramente, ha richiesto uno studio approfondimento dell'isolamento acustico e della tenuta al fuoco richieste da normativa che non erano mai state fatte prima per una struttura completamente "organica".

Il WIDC non è solo un catalogo delle tecnologie, ma motivo di studio ed interesse, un progetto veloce e pulito, interamente costruito in fabbrica e assemblato in cantiere, progettato fin dal principio a orientamento LEED, per essere la dimostrazione dell'uso avanzato del legno. Inoltre all'edificio è stata commissionata una valutazione del ciclo di vita LCA, per essere dichiarata pubblicamente e dimostrare i livelli di impatto ambientale. Con i suoi 1450 m³ di legno l'architettura sola è in grado di stoccare circa 980t di anidride carbonica.

Inoltre per mantenere l'equilibrio naturale lo studio di architettura progettista, pianta alberi nuovi per ogni albero utilizzato nelle loro costruzioni.

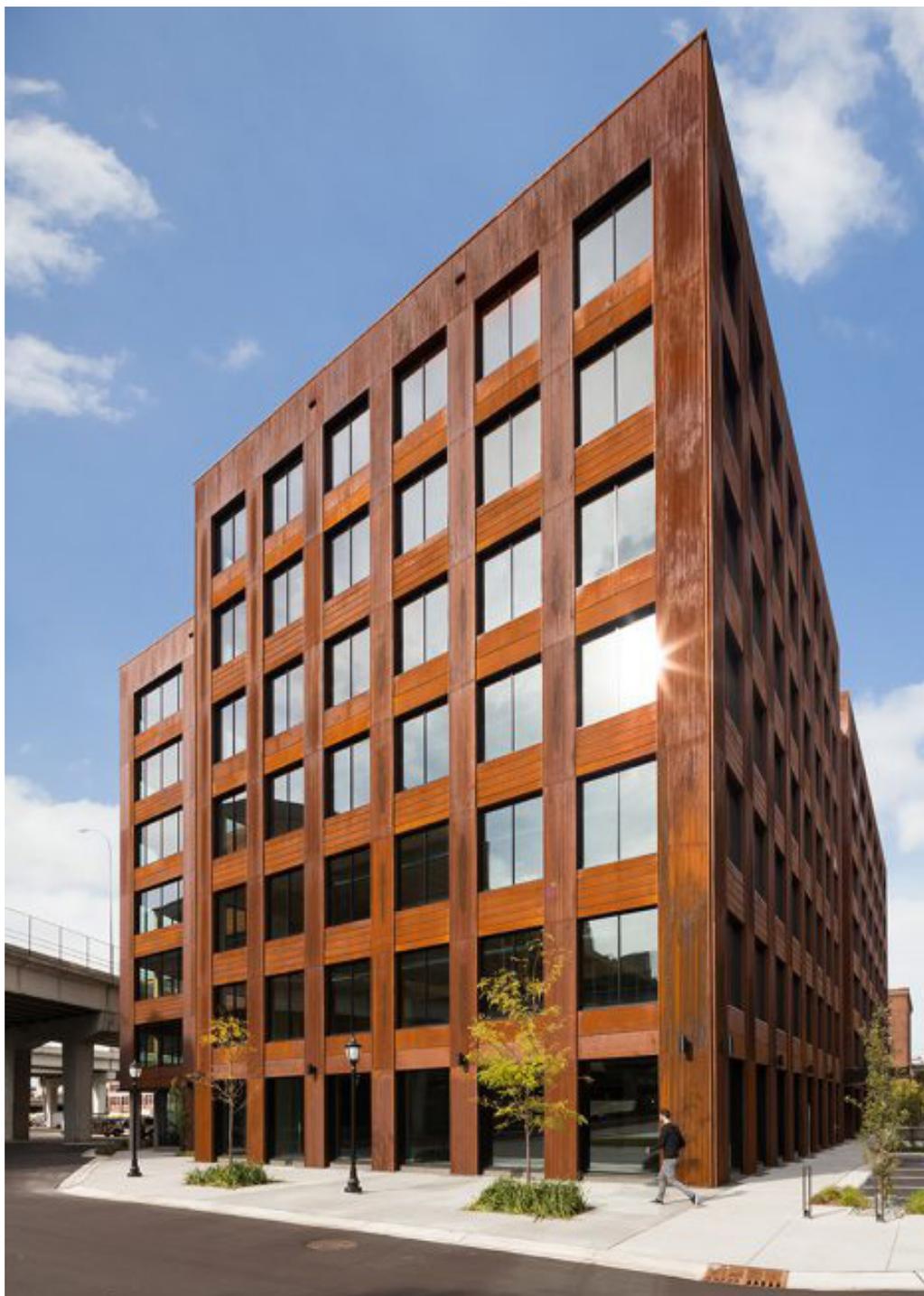
Il WIDC non solo rappresenta una conferma di quello che è possibile realizzare con i materiali naturali, ma anche la capacità dell'uomo di adattarli alle proprie esigenze generando edifici con una costruzione più veloce e pulita, una spesa economica minore ed un impatto sull'ambiente positivo contrariamente alle strutture moderne.



WIDC
Source: Michael Green, 2014



WIDC
Source: Michael Green, 2014



T3
Source: Michael Green, 2016



T3
Source: Michael Green, 2016



T3
Source: Michael Green, 2016

T3 Minneapolis

DLR Group, Michael Green Architecture

Luogo: Minneapolis, USA

Anno: 2016

Area: 22.000m²

Altezza: 26m

Struttura: Pilastri e travi in GLT+ solai in NLT

Manufacturers: Rothoblaas, Forms + Surfaces, HAS-SLACHER NORICA TIMBER, Kawneer, RMP RollFab, SPF

Costo: \$24,514,000

Il T3, realizzato nel 2016, è un edificio per uffici a Minneapolis, USA che rappresenta un “gamechanger” per l’edilizia commerciale e una pietra miliare per la costruzione in legno di massa negli Stati Uniti.

Primo edificio in legno moderno ad essere costruito negli Stati Uniti in oltre 100 anni e, al momento del completamento, con i suoi 22000 m² rappresentava il più grande del Nord America.

Situato in una zona industriale del quartiere di North Loop di Minneapolis il T3 è stato progettato basandosi sui caratteri del passato con una prospettiva moderna riprendendone appositamente i caratteri propri, quali l’involucro in laterizio, la struttura portante lignea a telaio con connettori a vista metallici e solai in legno.

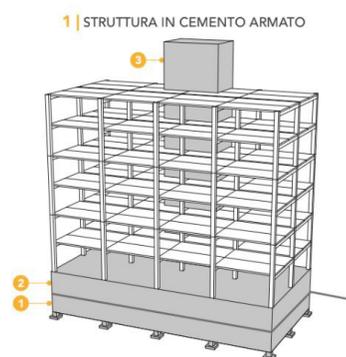
Più basso del WIDC, il T3 con i suoi 26m è composto da 7 piani di cui uno interrato.

Costruito con una struttura a travi e pilastri in legno lamellare GLT (glue laminated timber) in abete rosso con giunti metallici e solai di NLT (nail laminated timber) in legno massiccio di Douglasia, il tutto rivestito da un involucro di corten. Le fondazioni, il piano seminterrato, il piano terra e il nucleo sono invece fatti in calcestruzzo armato.

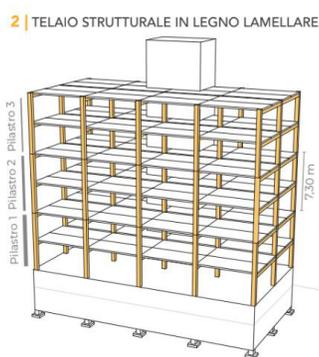
La particolarità dell’utilizzo del legno massiccio è che rientra nella categoria IV dell’IBC International Building Code, che indica le prescrizioni per la progettazione e costruzione negli Stati Uniti, che non richiede

PUNTI DI FORZA:

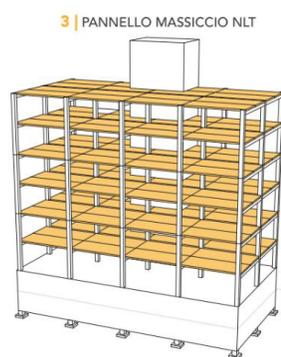
- struttura in legno massiccio
- velocità di costruzione 9settimane e mezzo
- utilizzo alberi abbattuti dallo scarbaeo di pino montano
- possibilità di settorizzare l’edificio
- struttura prefabbricata a 7h di distanza
- rigenerazione della foresta canadese
- stoccaggio 3581t CO₂



- 1 Pilastri e setti di fondazione
- 2 Basamento a due piani in c.a. (parcheggi interrati piano terra e relativi solai in c.a. ed acciaio)
- 3 Nucleo centrale (ascensore e corpo scala)



Travi e pilastri prefabbricati in legno lamellare di abete rosso e connessioni meccaniche. I pilastri, di uguale altezza, coprono due livelli ed hanno sezioni variabili in funzione del piano, come le travi.



Circa 1100 pannelli di **NLT** (Nail Laminated Timber) in legno di abete douglas posati ed inchiodati sull’estradosso delle travi.

Elaborazioni grafiche a cura di C. Santamaría, C. Zappia

calcoli alla resistenza al fuoco.

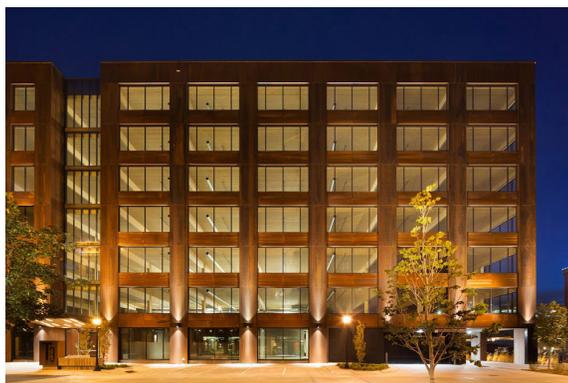
L'innovazione introdotta dallo studio di architettura è stata l'utilizzo di alberi caduti dopo l'infestazioni di insetti, dello scarabeo di pino montano, per la formazioni dei pannelli in NLT permettendo così un risparmio nella costo dei materiali.

Il montaggio della struttura portante del T3, completamente prefabbricato in un'industria a sole 7 ore di distanza dall'area d'intervento, è stato estremamente veloce. Sono bastate solo 9 settimane e mezzo per completare tutto lo scheletro dell'edificio e 13 mesi totali per completarlo.

Questa velocità di assemblaggio, la leggerezza della struttura e la forma standardizzata scomponibile in "kit" da affittare a utenti diversi ha permesso un enorme risparmio nella sua costruzione rendendo il progetto, inizialmente pensato da Michael Green come un altro dei suoi esperimenti sul legno, un modello che i developer in tutto il mondo hanno voluto e stanno provando a realizzare.

Progettato per essere certificato LEED Gold, il T3 con oltre 3600 m3 di legno è capace di stoccare 3581tdi CO2.

Candice Nichol, socio del gruppo MGA Associate e capo progetto del T3 Project afferma "the texture of the exposed NLT is quite beautiful. The small imperfections in the lumber and slight variation in color of the mountain pine beetle wood only add to the warmth and character of the new space."



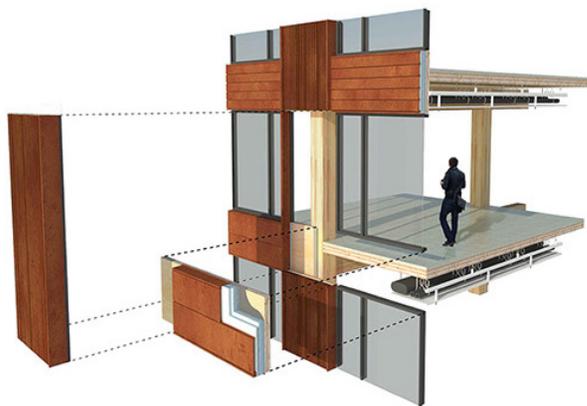
T3
Source: Michael Green, 2016



T3
Source: Michael Green, 2016



Dettaglio costruttivo facciata T3
Source: Michael Green, 2016





The Treet
Source: Artec Arkitekter AS, 2015



The Treet
Source: Artec Arkitekter AS, 2015



The Treet
Source: Artec Arkitekter AS, 2015

The Treet

Artec Arkitekter AS, Laksevåg/Norwegen

Luogo: Bergen, Norvegia

Anno: 2014-2015

Area: 7.140 m²

Altezza: 49m

Struttura: Moduli prefabbricati in CLT+ esoscheletro, travi e pilastri in GLT

Manufacturers: Glulam construction: Moelven Limtre AS, Moelv/Norway

Costo: appros. 22 M €, 6,500€ per m²

Ispirato dalla notevole storia norvegese delle costruzioni in legno e spinto dal desiderio di alloggi sostenibili, Treet (l'Albero) di ARTEC è diventato il primo grattacielo in legno ingegnerizzato a catturare l'attenzione del mondo. Costruita dagli imprenditori edili BOB (Omegn Building Society), società che mira ad essere in prima linea nello sviluppo di case per il futuro, con una forte attenzione al consumo energetico, allo sviluppo sostenibile e agli spazi esterni comuni e completata nel 2015, la struttura residenziale di lusso di 14 piani nel centro della città di Bergen in Norvegia è l'edificio più alto al mondo con i suoi 49m di altezza.

Il grattacielo è una combinazione ibrida di una struttura in legno lamellare, balconi e scale in CLT e appartamenti in moduli prefabbricati accatastati insieme sul posto, completamente costruita con legno norvegese.

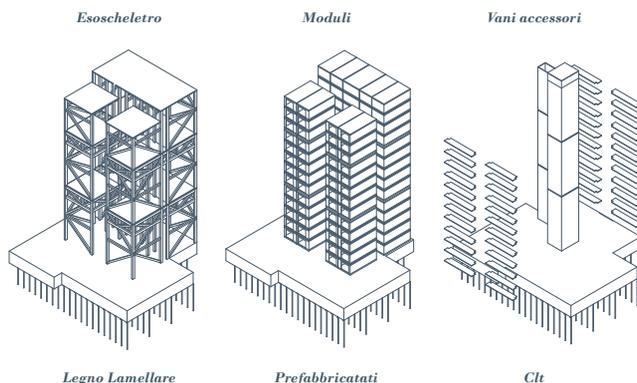
Il CLT è stato utilizzato per scale, scale, vano ascensore e balconi, con particolare attenzione ai rivestimenti ignifughi.

I Powerfloor costituiti da capriate alte un piano, combinate con lastre di cemento su due livelli, conferiscono alla struttura una resistenza e un peso sufficienti per rimanere stabile al vento.

Rivestito in acciaio corten ad est e ad ovest e vetro a nord e sud, per proteggere il legname dalle condizioni meteorologiche umide tipiche della città norvegese, l'edificio permette la vista sul porto e sul paesaggio del fiordo circostante.

PUNTI DI FORZA:

- struttura in moduli
- velocità di costruzione
- utilizzo alberi norvegesi locali
- stoccaggio 2000t CO2



Legno Lamellare

A fornire rigidità all'edificio sono le travi reticolari in legno lamellare che costituiscono l'intero esoscheletro della Treet House.

Prefabbricati

I moduli prefabbricati costituiscono il volume principale dell'edificio e sono le unità abitative fruibili dagli utenti.

Clt

In CLT vengono realizzati anche gli ascensori (per un totale di 15 fermate), in alcune pareti interne e nei balconi.

Sede di 62 appartamenti, una sala fitness e una terrazza panoramica il tutto prefabbricato in moduli progettati e prodotti da Kodumaja.

Grazie alla posizione del sito di progetto vicino all'acqua, i moduli sono stati consegnati via nave fornendo la possibilità di utilizzare moduli più ampi rispetto a quanto consentito dalle normative stradali norvegesi.

Tutti i moduli sono unità indipendenti con proprio isolamento e rivestimento resistente alle intemperie per resistere alla fase di montaggio e sono stati pensati in tutti i loro particolari fino all'installazione dei cavi per l'allaccio all'elettricità.



The Treet, moduli autoportanti
Source: Artec Arkitekter AS, 2015

Questo metodo ha ridotto notevolmente i tempi di costruzioni diminuendo così i costi di costruzione.

I moduli autoportanti, sono impilati in loco su quattro piani ed intervallati da un "powerfloor", un telaio in legno lamellare prefabbricato, fornito da Moelven, che sostiene i 4 livelli successivi di moduli e permette supportare l'azione del vento estrema della città. Il tutto ripetuto per 3 volte per arrivare all'altezza desiderata di 45m.

All'inizio, questi powerfloors non contenevano moduli ma erano solo pavimenti strutturali vuoti; in seguito, sono stati ingranditi e riempiti di appartamenti per creare un edificio più efficiente in termini di spazio. Le intercapedini tra i moduli, i telai e il rivestimento sono riempiti con isolamento per prevenire la propagazione del fuoco e riduce il rumore.

"A key challenge in building a 14-storey high timber building is preventing it from swaying in strong winds. As such, the glulam frame has been reinforced with diagonal glulam braces whilst concrete elements have been installed on the top of the 5th and 10th floors, and on the roof. The concrete elements are not a part of the structural system but have been installed to add weight in order to reduce movement within the building," dice Ole Herbrand Kleppe, capo del progetto e manager del BOB.

Secondo Kleppe, l'edificio è un progetto pilota per dimostrare che è possibile costruire residenze cittadine moderne con materiali che soddisfano gli standard del domani per la sostenibilità e le emissioni di gas a effetto serra, pur ottenendo un alto rapporto di trama. L'uso del legno al posto di materiali da costruzione non rinnovabili rappresenta un passo importante verso la riduzione del riscaldamento globale. Il ruolo delle foreste come "serbatoi di carbonio", in base al quale il legno immagazzina carbonio fintanto che l'albero è vivo o viene utilizzato in una struttura, dovrebbe diventare sempre più importante in futuro.



The Treet, 3d struttura
Source: Artec Arkitekter AS, 2015



Carbon 12
Source: Kaiser+Path studio, 2019

Carbon 12
Kaiser + Path

Luogo: Portland, Oregon, USA

Anno: 2019

Area: 3900m²

Altezza: 26m

Struttura: Structurlam prefabbricato Travi e colonne GlulamPlus[®] e pannelli CrossLam[®] CLT

Costo: \$1.35 milioni per 200m²



Mjøstårnet
Source: Voll Arkitekter, 2019

Mjøstårnet

Voll Arkitekter

Luogo: Brumunddal, Norvegia

Anno: 2019

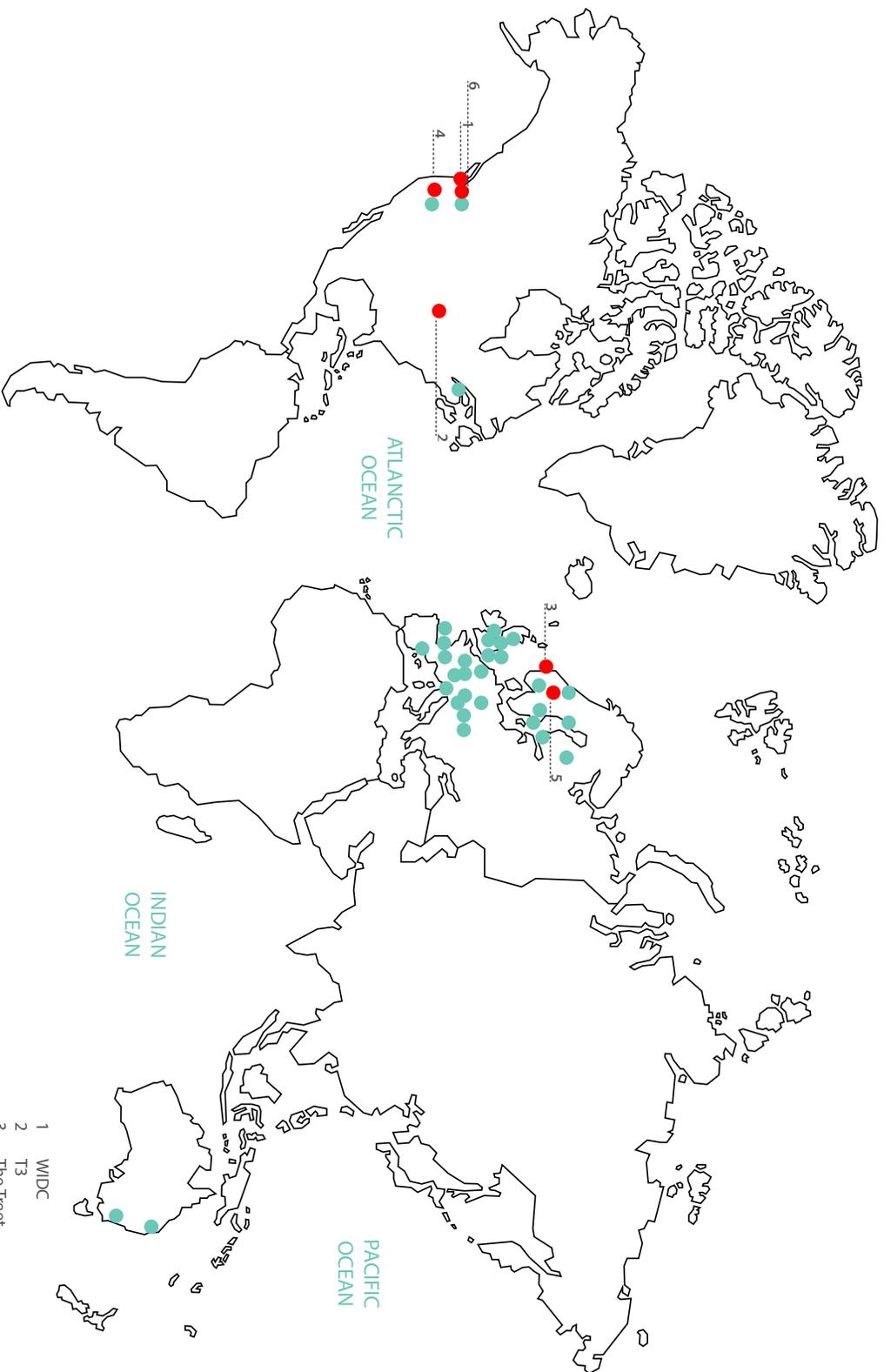
Area: 15,000 m²

Altezza: 85.4m

Struttura: glulam, CLT e MetsäWood's Kerto LVL

Costo: \$52 milioni

			GWP tot	GWP/m2
WIDC	 <p>2014</p> <p>4.820 m2 x7 piani</p>		-980 t	-29
The Treet	 <p>2016</p> <p>7140 m2 x15 piani</p>		-2000 t	-19
Brock Commons	 <p>2018</p> <p>15.120 m2 x18 piani</p>		-1753 t	-6
Mjøstårnet	 <p>2019</p> <p>15.000 m2 x17 piani</p>		-1700 t	-7
Carbon 12	 <p>2019</p> <p>3900 m2 x8 piani</p>		-132 t	-4



Strutture in altezza in legno nel mondo

Source: project website, wood supplier website, ProHolz.austria specialized article, Iesi magazine, Vittorio Salvadori Politecnico di Milano, 2017

CAPITOLO 3

**IL PROGETTO E L'IMPRONTA
AMBIENTALE:**

Il continuo e sempre più rapido sviluppo delle città ha portato nel corso della storia ad un accumulo eccessivo di flussi e il quasi il completo abbandono di intere aree tra cui in casi più ampi anche di situazioni puntuali in pieno centro storico.

Vivere in una metropoli oggi giorno significa camminare per strade affollate e rumorose, con flussi inarrestabili di automobili e mezzi di trasporto, con la vista distratta dalle infinite pubblicità parassita che invadono ogni muro vuoto dei palazzi. Vivere in una metropoli significa “correre” da un posto all’altro senza avere il tempo di godersi la storia che l’ha generata, significa essere spinti da ammassi di gente alle uscite della metropolitane, significa perdere la cognizione del tempo e dello spazio.

È dunque fondamentale e necessario riconnettere il tessuto storico abbassando i flussi e generando spazi neutri con velocità moderate per creare città vivibili, organizzate ed equilibrate.

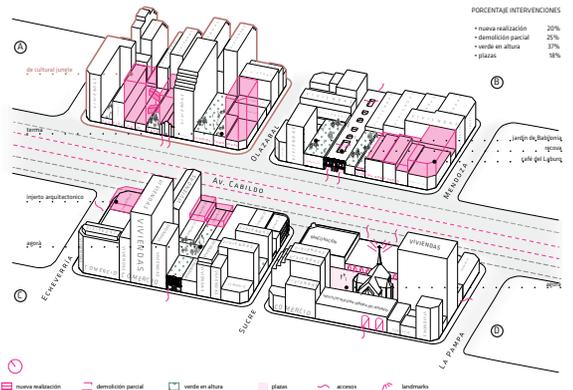
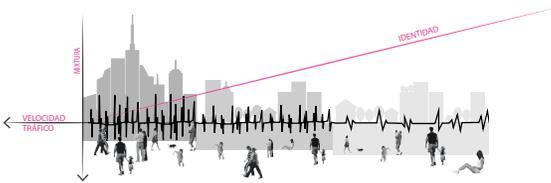
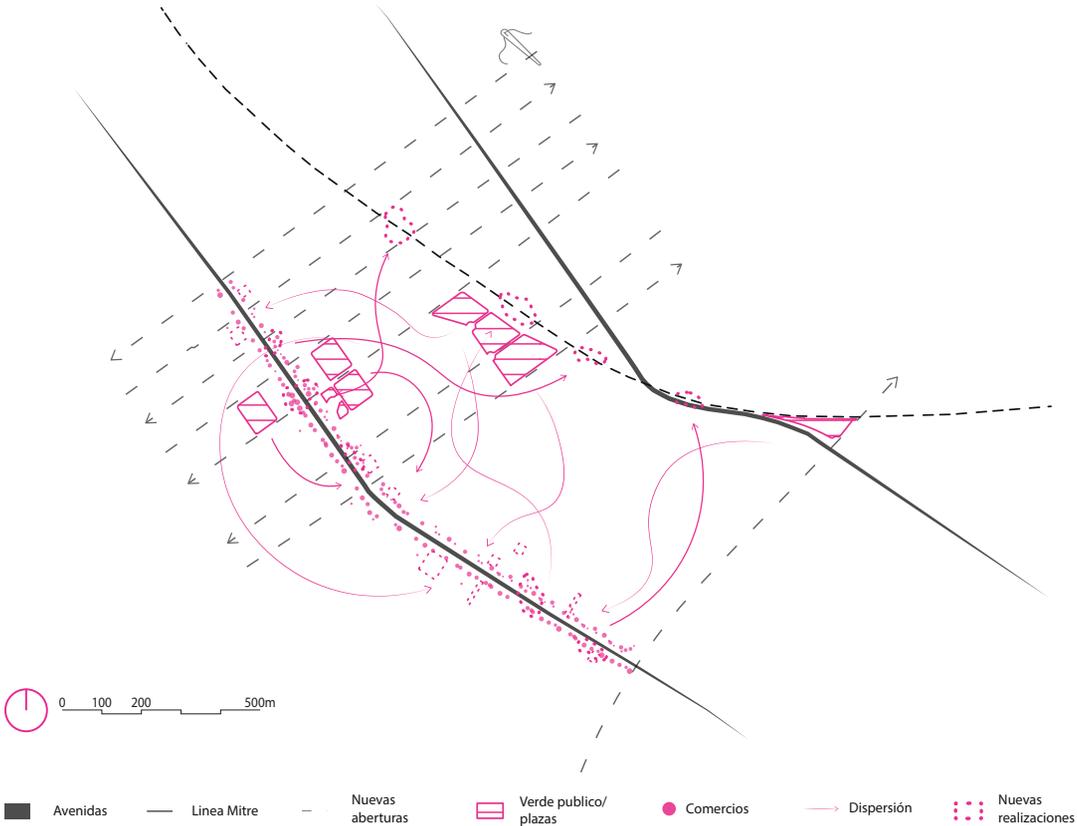
Come è dunque possibile modificare la organizzazione di una città già progettata? Come è possibile limitare i flussi? E infine, quali strategie si possono adottare senza dovere riprogettare completamente il centro abitativo utilizzando nuove interventi?

L’idea di progetto nasce proprio da queste problematiche, concentrandosi sulla riqualificazione di 4 edifici oggi ad uso commerciale, tra cui uno con valore patrimoniale, praticamente dismessi in una delle strade più trafficate di Buenos Aires, Avenida Cabildo.

Sfruttando spazi esistenti e localizzati all’interno del tessuto urbano abbiamo provato a generare nuovi punti focali con una struttura “libera” per edifici multifunzionali che possano resistere all’azione del tempo e al processo evolutivo della storia.

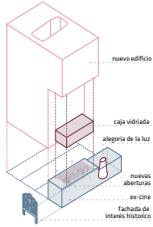
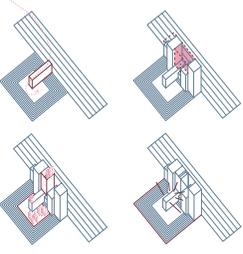
3.1 Il Progetto “SHLOW”:

Il caso studio, svolto nel periodo passato in Argentina e ubicato su Avenida Cabildo una delle strade più trafficate e caotiche di Buenos Aires, nasce dal desiderio di abbassare la velocità della strada su cui affaccia, distribuendo il flusso e diminuendo così le emissioni dovute ai mezzi di trasporto e dalla necessità di valorizzare il vecchio cinema storico presente nello stesso lotto.



RALENTIZAR
el flujo peatonal en la avenida a través del ex-cine: un colector hacia el patio interior

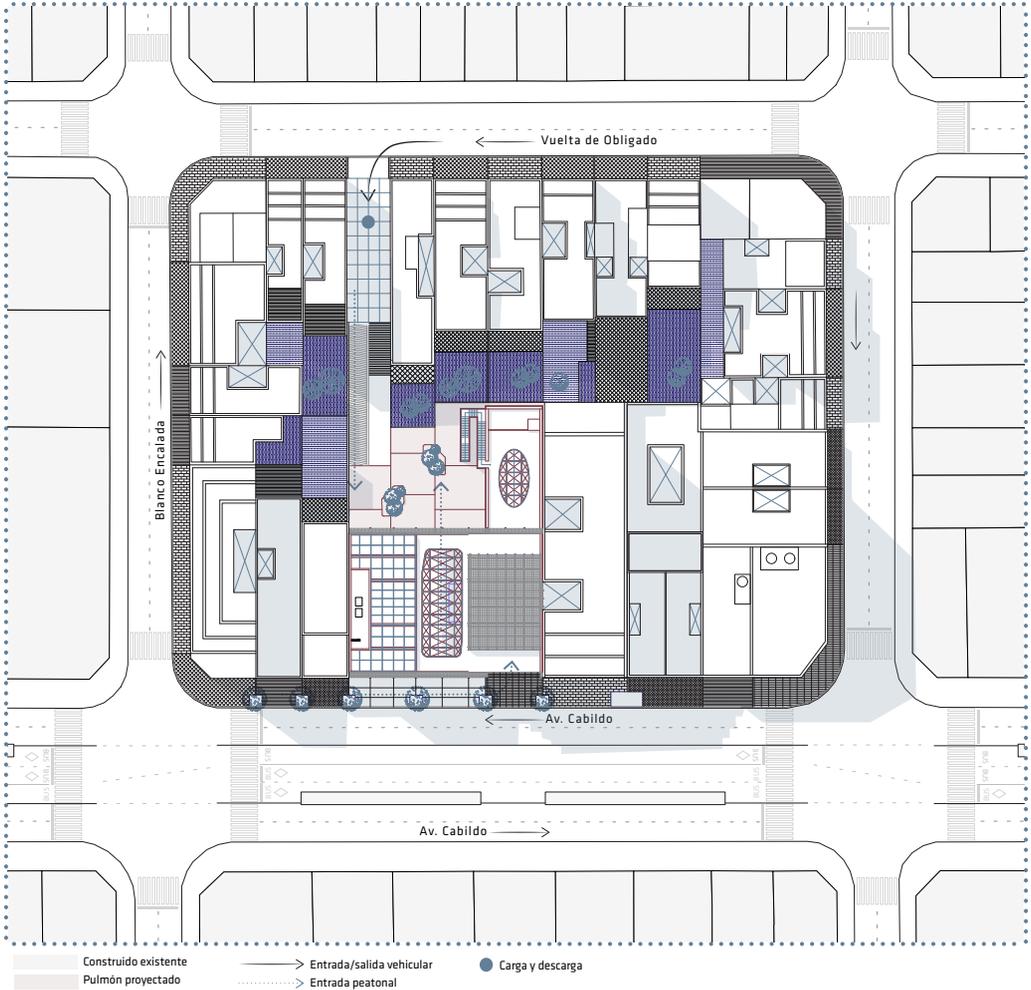
UNIFICAR
las alturas de los edificios en la avenida para lograr una forma de uniformidad perceptiva

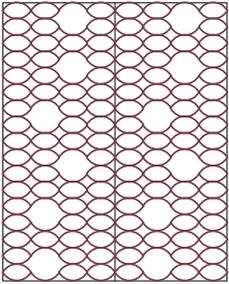
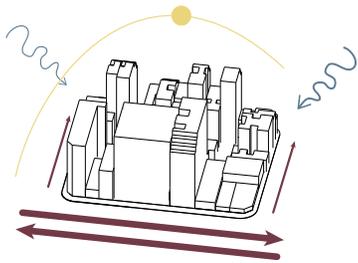


SUSTENTABILIZAR
el modo de construir: creando espacios para la colectividad e incluso verdes

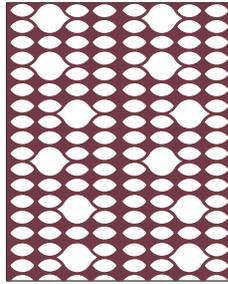
VALORIZAR
la identidad del lugar, patrimonial pero también cultural

Il progetto, con i suoi circa 1000 metri quadri di pianta e i suoi 42 m di altezza, cerca di generare un nuovo modo di vivere la città, una maniera più salutare e sobria, rallentando i flussi pedonali, unificando le altezze tra gli edifici dando una maggior uniformità percettiva all'Avenida ed infine generando spazi collettivi e verdi generando un microclima sostenibile. Costituito da due torri collegate tra loro da uno spazio di circolazione coperto ed incastonato tra 2 edifici di media altezza ha funzione nei primi piani di mercato lento ed area di ristorazione, nei piani intermedi di spazi co-working mentre l'ultimo piano è occupato da un asilo infantile e una serra.



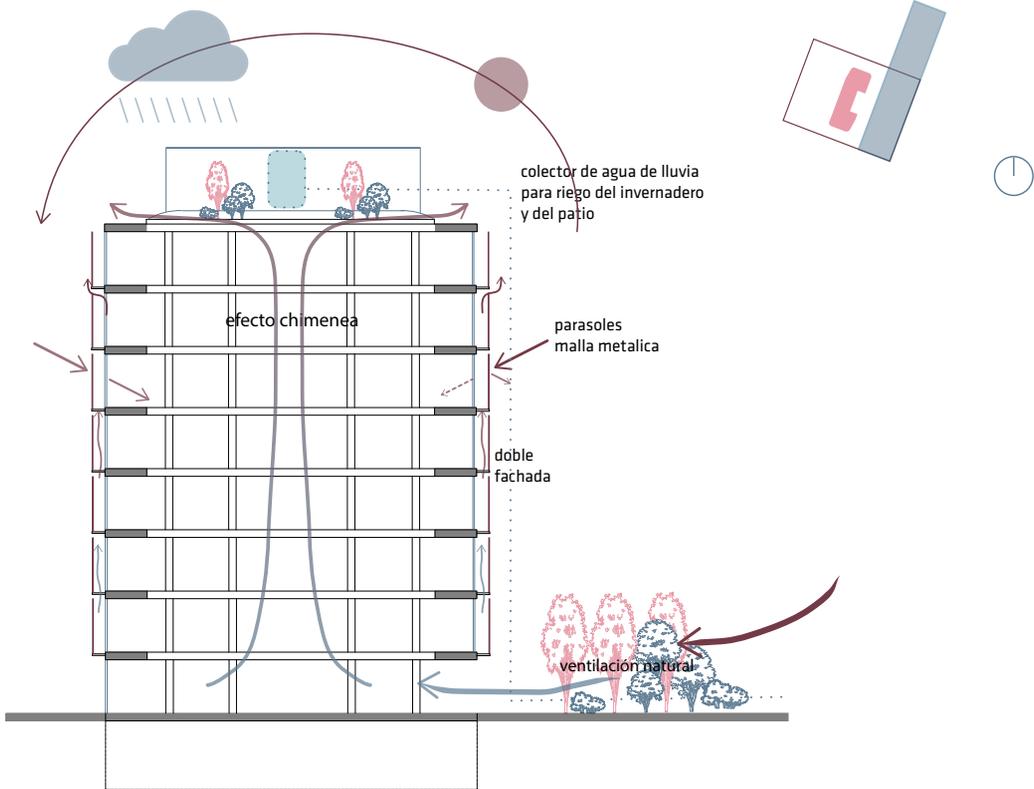


Lado Suroeste



Lado Noreste

Costruito tra “medianeras”, le due parete cieche degli edifici adiacenti, è stato progettato leggermente rientrante rispetto alla linea di costruzione degli altri edifici e mantiene, come dettato da regolamento urbanistico della città, uno spazio libero e verde retrostante in quello che viene chiamato “pulmón de manzana”. Le due facciate libere sono completamente vetrate per far entrare una maggior quantità di luce naturale e calore e diminuire così la necessità di energia e sono protette da dei frangisole, sul lato a sud-ovest con una trama meno fitta per permettere una maggior incidenza solare mentre sul lato a nord-est più fitta per riparare nei mesi estivi l’edificio dal calore.

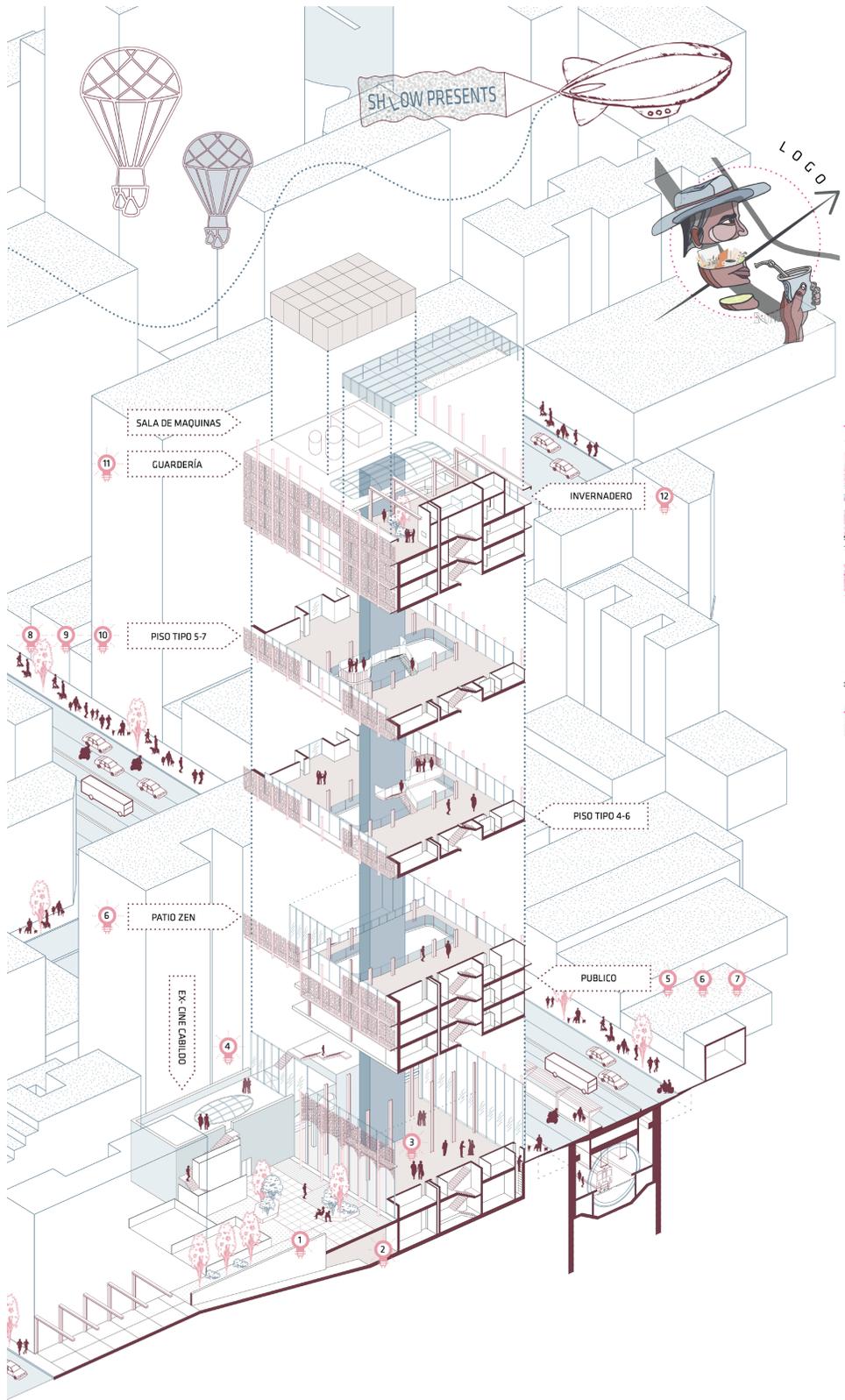




A livello architettonico/tecnologico la torre è bucata nella sua parte centrale a livello di solai per permettere l'entrata e la circolazione dell'aria proveniente "pulmón de manzana" generando un effetto camino naturale utile al rinfrescamento e ricambio d'aria in tutta l'altezza dell'edificio.

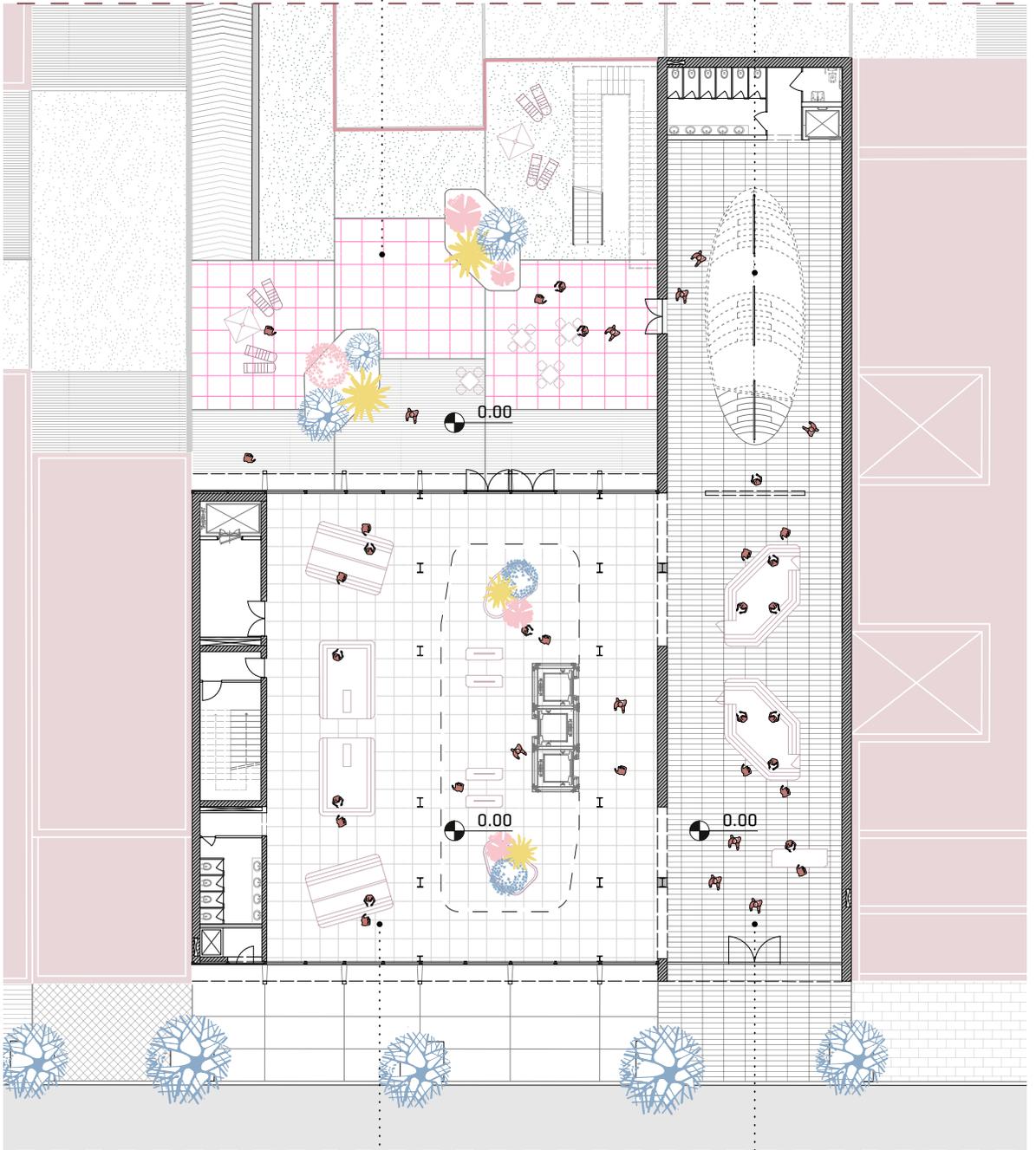
Infine all'ultimo piano, il tetto presenta un collettore d'acqua piovana utilizzato per i servizi sanitari e per la serra.

- 1 **Disfrutar del aire libre : en el patio exterior relax y deporte**
- 2 **Estar en un entorno ordenado: almacenes, archivos para diferentes destinos**
- 3 **Ir de compras donde trabajas**
- 4 **Compartir charlas: escalera de conexión y de conferencias informales**
- 5 **Ir a comer en el restaurante y/o cafetería con tus compañeros del trabajo**
- 6 **Descansar: el Patio Zen es una buena ocasión para el relax personal dentro de la torre**
- 7 **Ayudar a reconstruir la historia de la zona, llevando materiales en la casa del barrio**
- 8 **Alquilar un puesto de trabajo por mes o por semana**
- 9 **Trabajar en equipo: se conforma moviendo los tejidos sobre las guías metálicas**
- 10 **Presentar tus proyectos a los clientes**
- 11 **Llevar a tu hijo a la guardería en el mismo lugar donde trabajas**
- 12 **Disfrutar de un invernadero en el rooftop**



Patio de relax y deporte

Área de charlas



Mercado

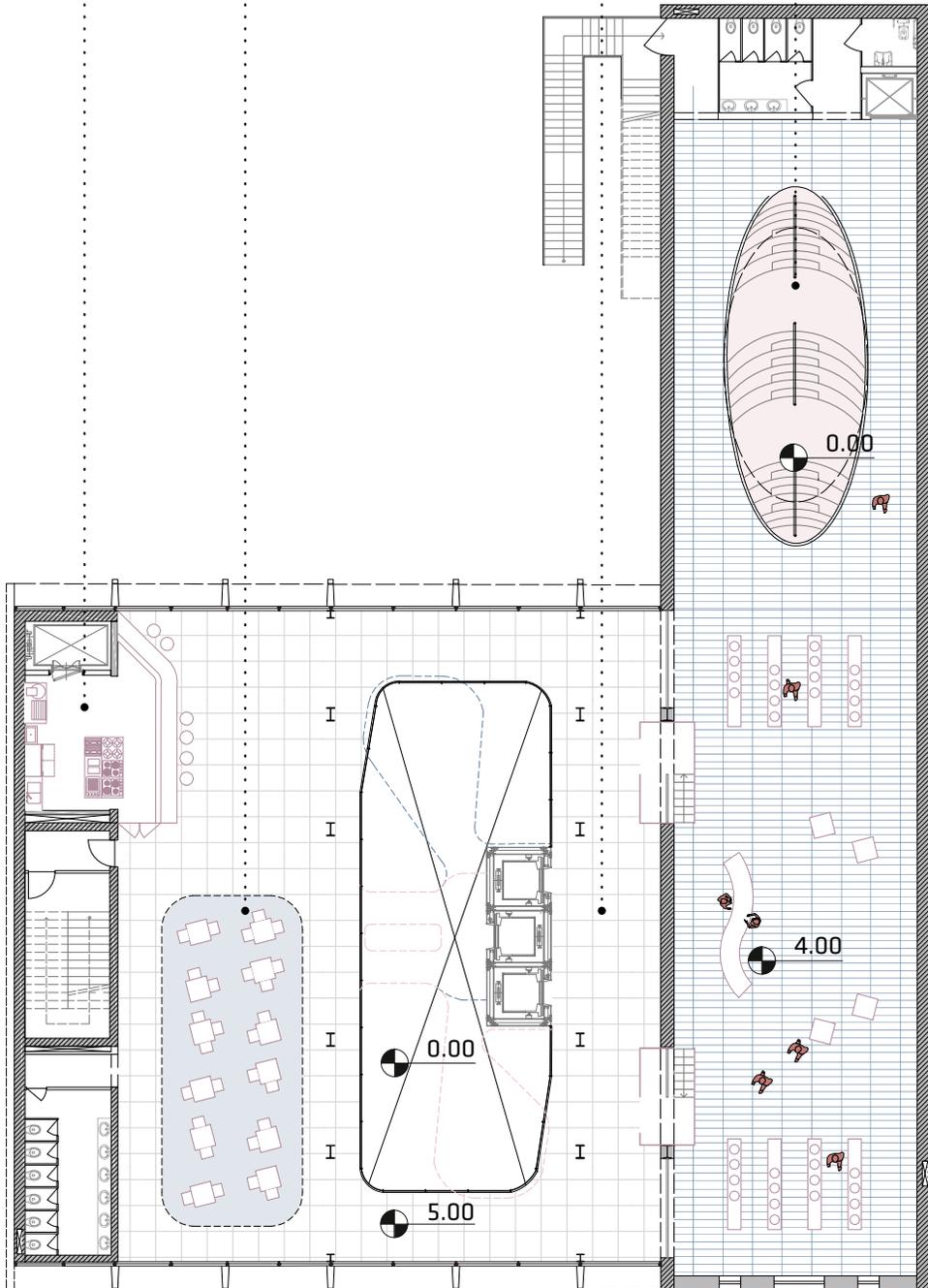
Acceso

Cocina

Restaurante

Espacio de conexión

Área venta



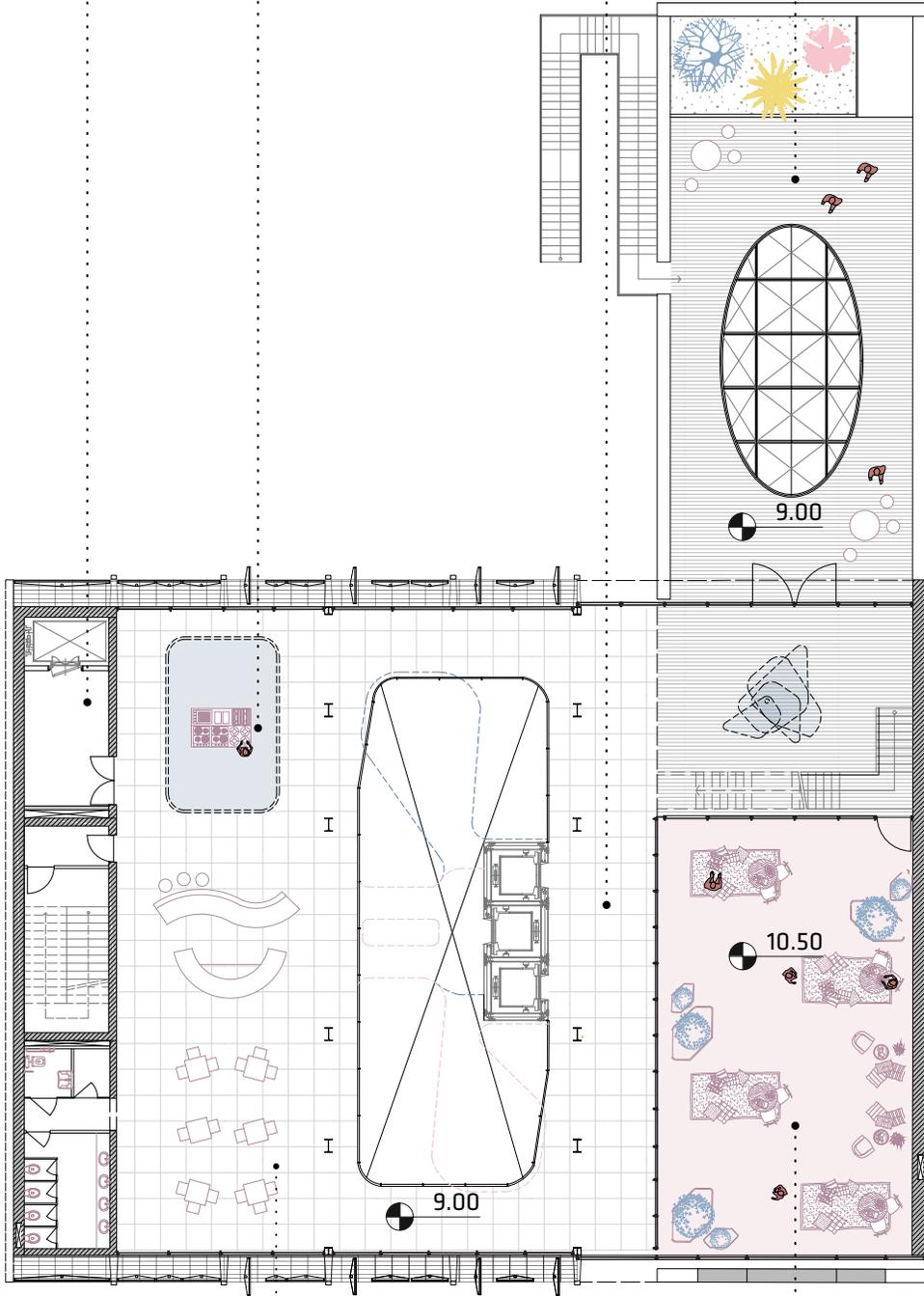
Planta primer piso

Sala de maquinas

Clases de cocina

Espacio de conexión

Terraza



Área computación

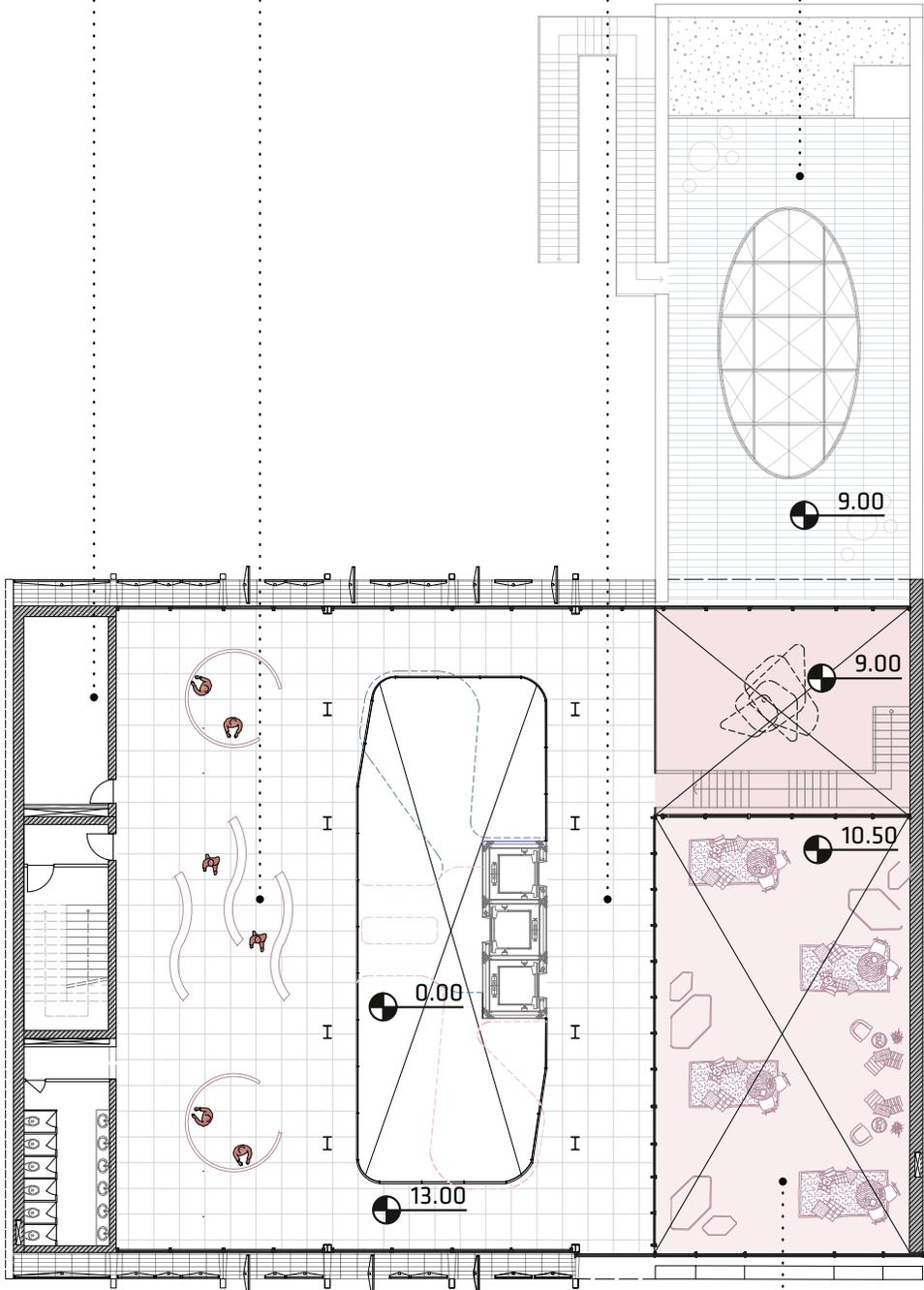
Área relax

////
Planta segundo piso

Sala de maquinas Área expo

Espacio de conexión

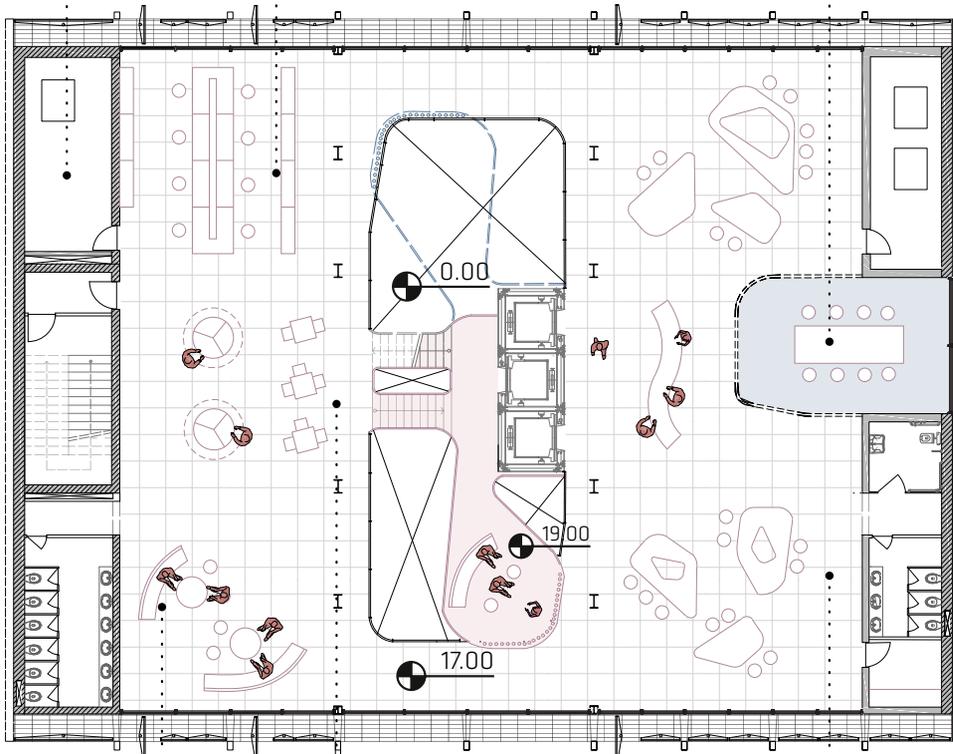
Terraza



Planta tercer piso

Sala de maquinas Área computación

Social table



Área relax

Área trabajo individual

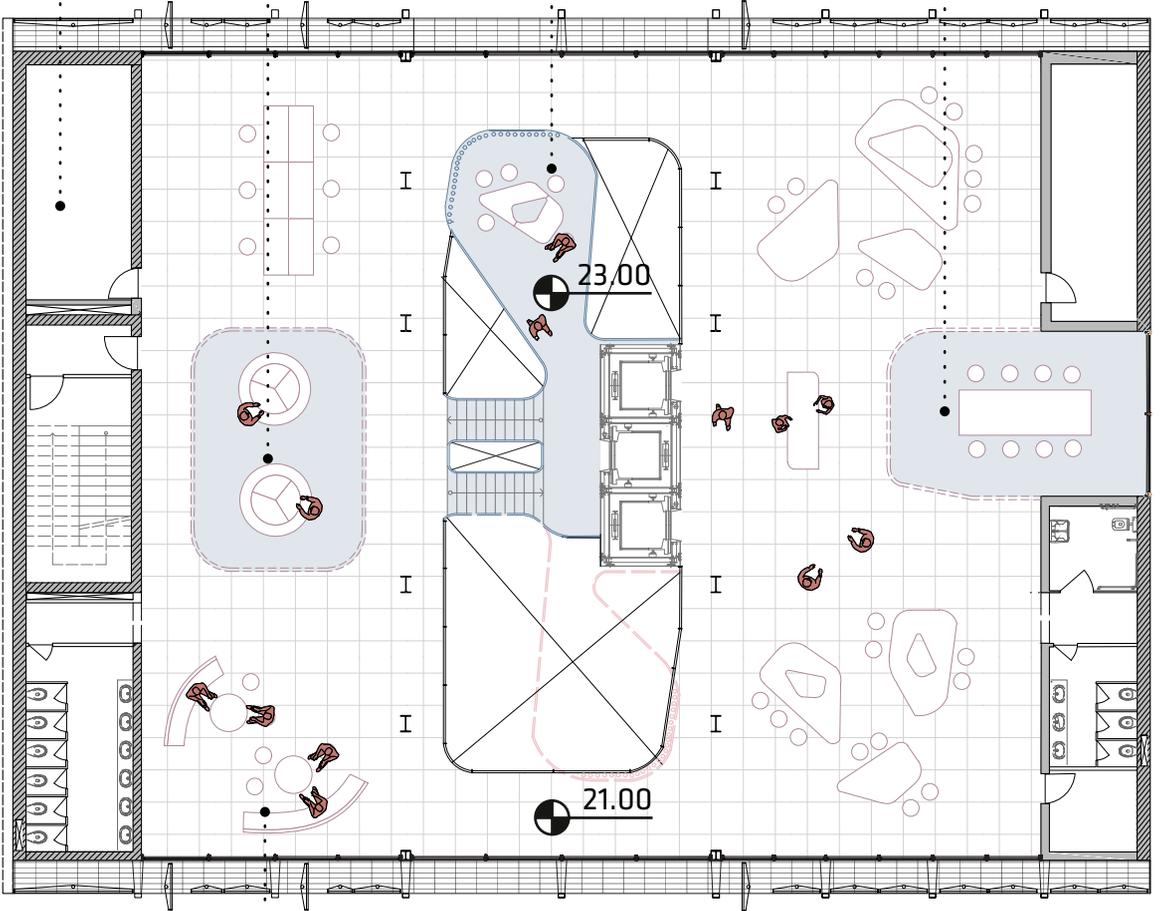
Área trabajo en equipo

////
Planta piso tipo 4-6

a de maquinas Call center

Incubadora de ideas

Área meeting



Área relax

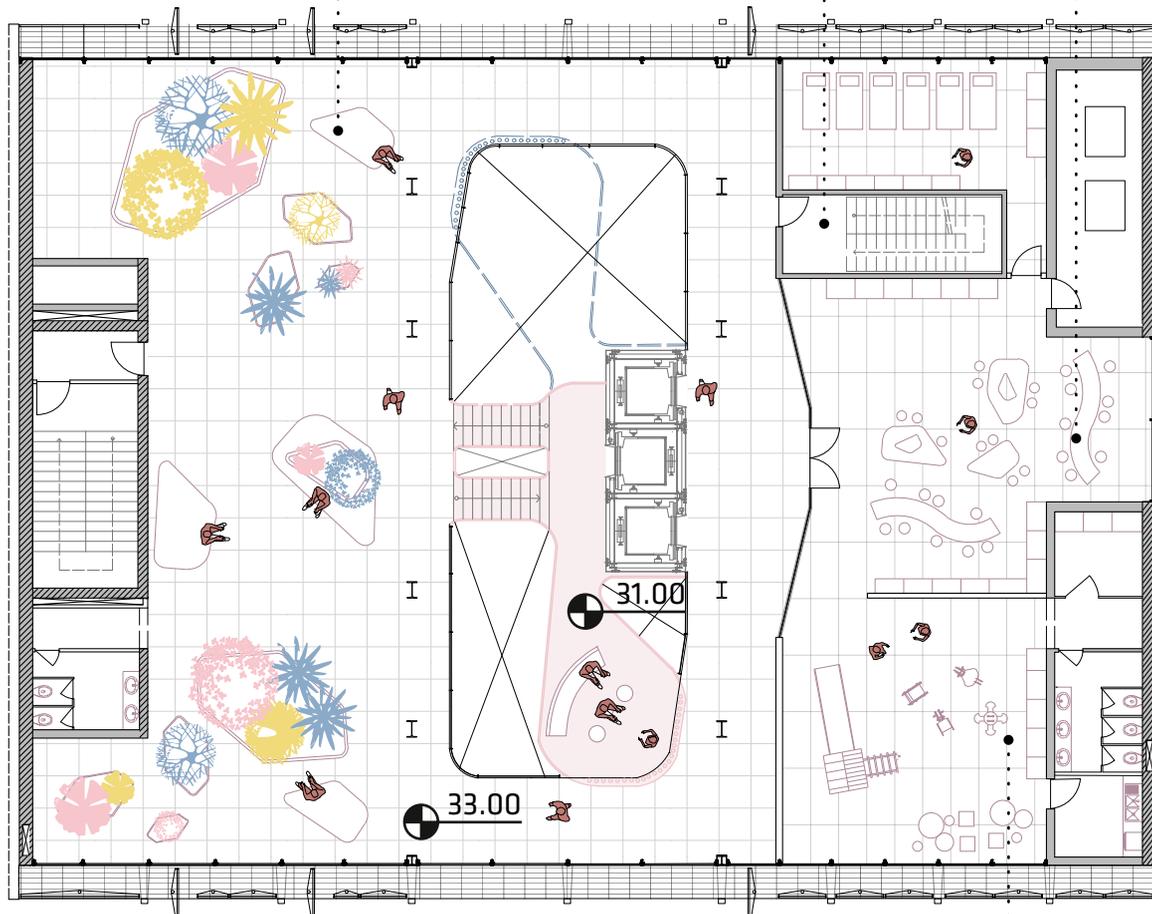


Planta piso tipo 5-7

Invernadero

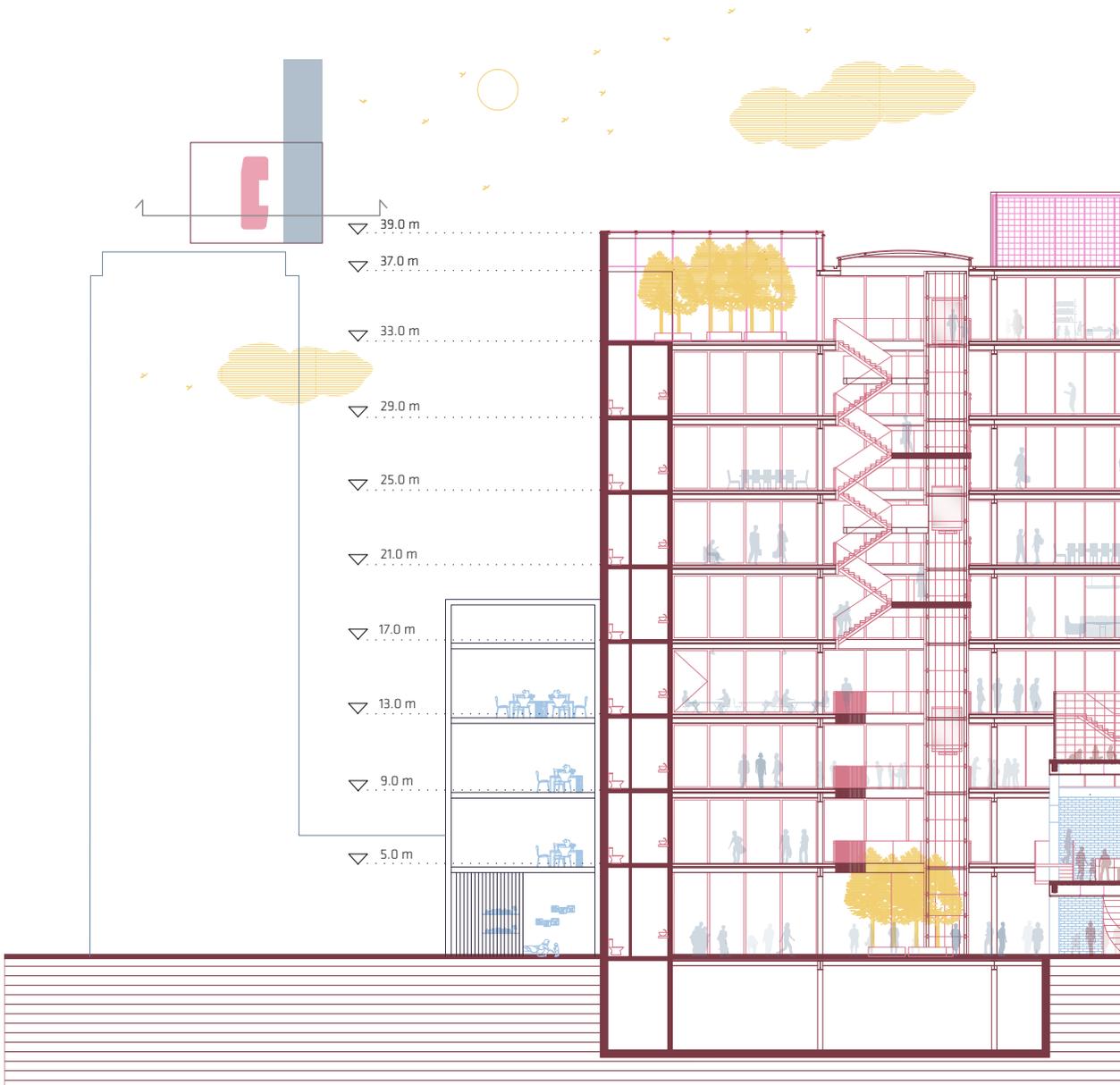
Acceso sala de maquinas

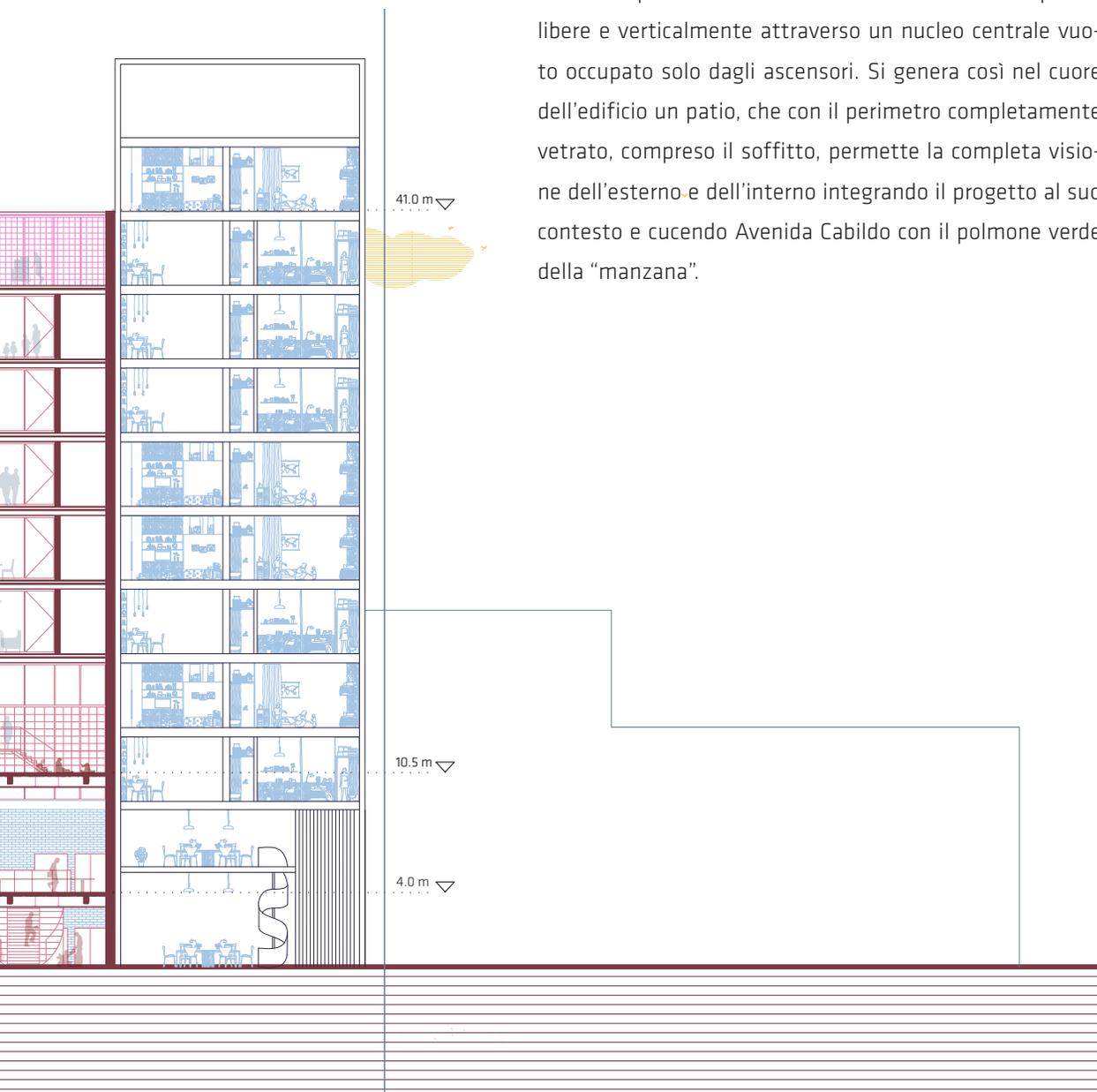
Guardería



////
Remate

Área juego

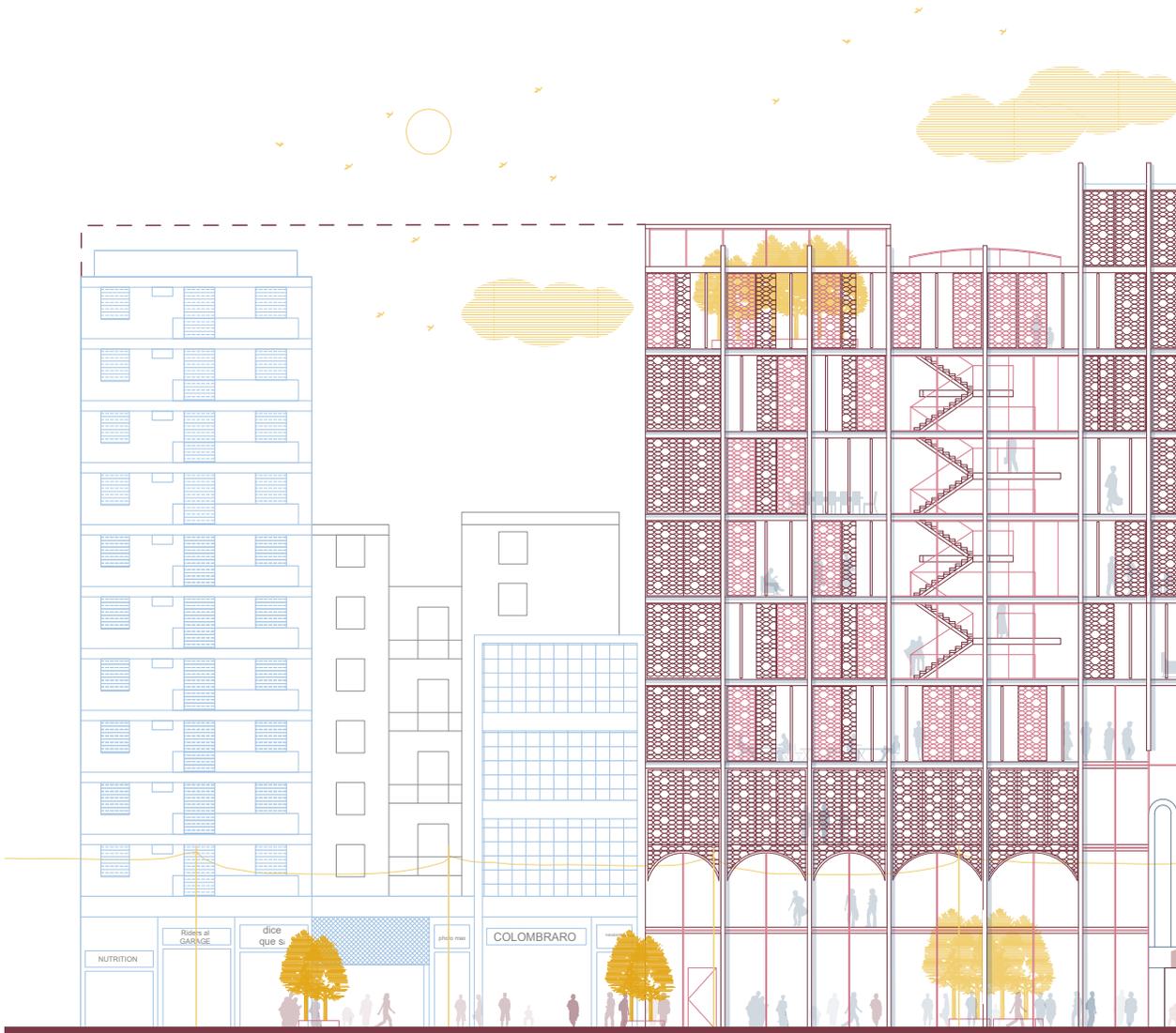




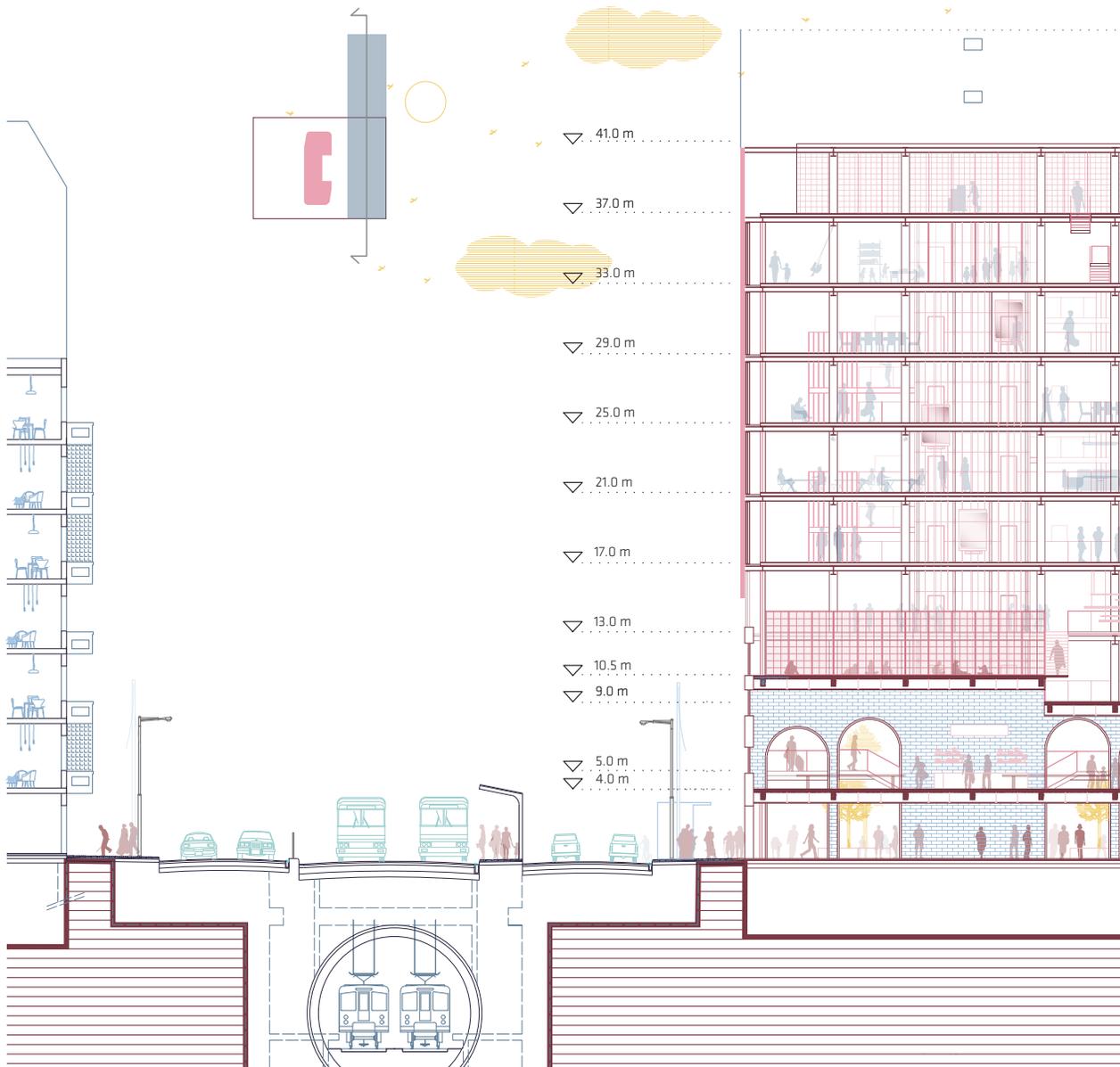
In concomitanza con la progettazione dei volumi e della funzione degli spazi, la scelta del sistema circolatorio è ricaduta su una possibilità che potesse lasciare l'opportunità al visitatore e/o lavoratore di muoversi liberamente in tutta la superficie dell'edificio. Orizzontalmente con piante libere e verticalmente attraverso un nucleo centrale vuoto occupato solo dagli ascensori. Si genera così nel cuore dell'edificio un patio, che con il perimetro completamente vetrato, compreso il soffitto, permette la completa visione dell'esterno e dell'interno integrando il progetto al suo contesto e cucendo Avenida Cabildo con il polmone verde della "manzana".

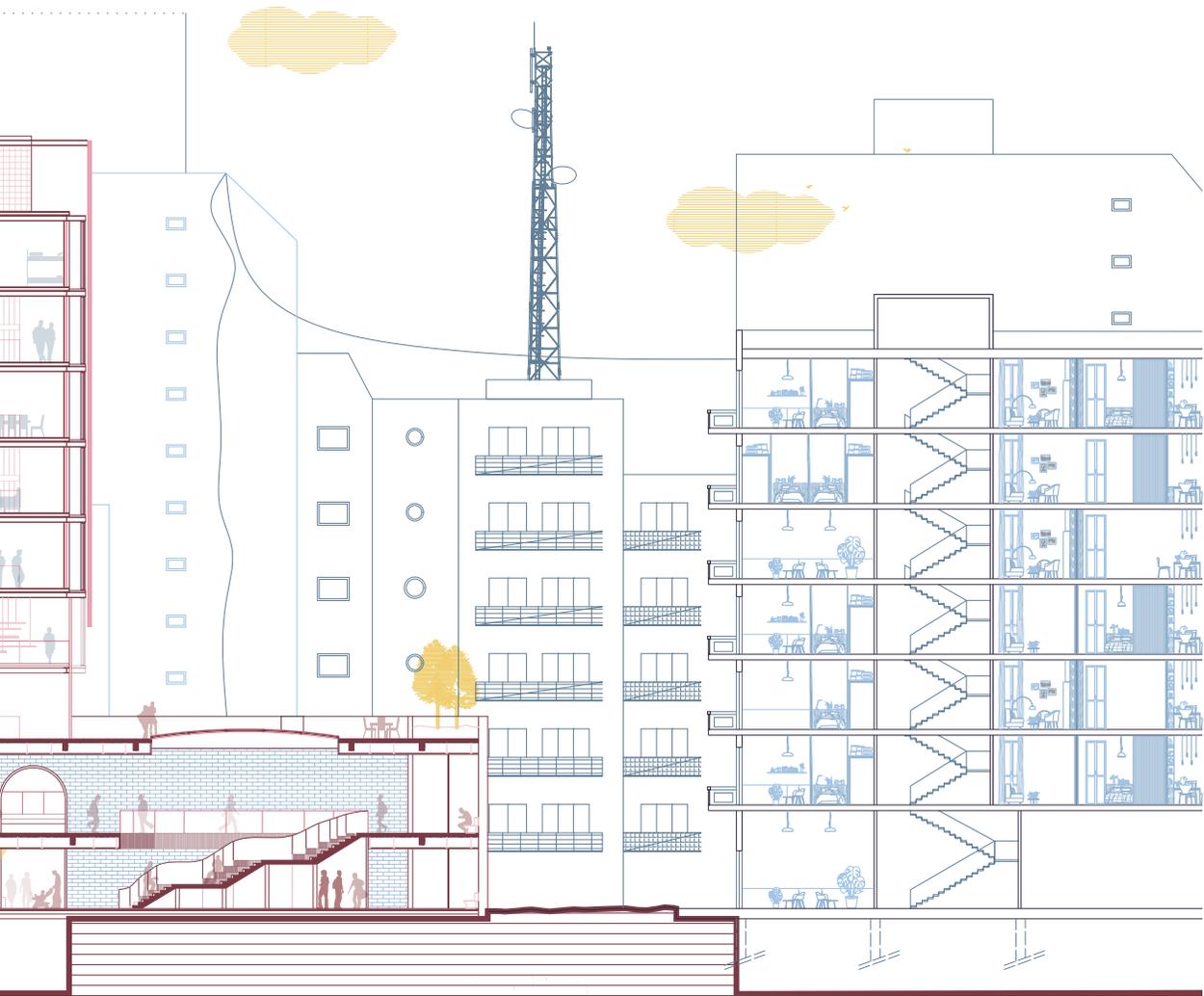


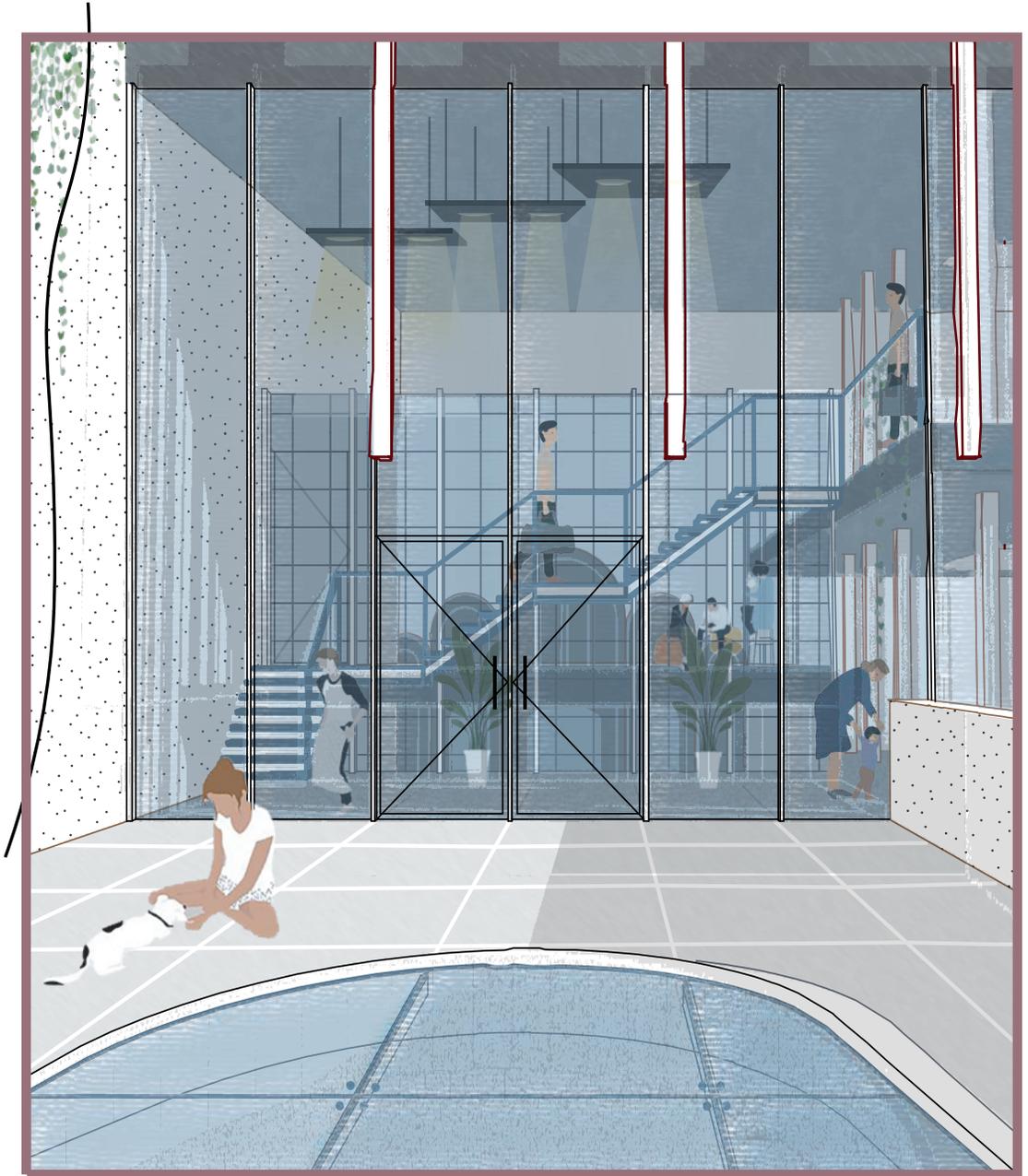












Il tetto del ex cinema è trasformato in una terrazza calpestabile perforata da un oculo ovale vetrato, che riprende la forma della gradinata sottostante a sua volta rappresentazione dell'aule cinematografiche. L'oculo illumina tutta la lunghezza della vecchia costruzione. A livello di pavimentazione un semplice marco divisorio segnala come cicatrice l'innesto tra il nuovo e l'antico.

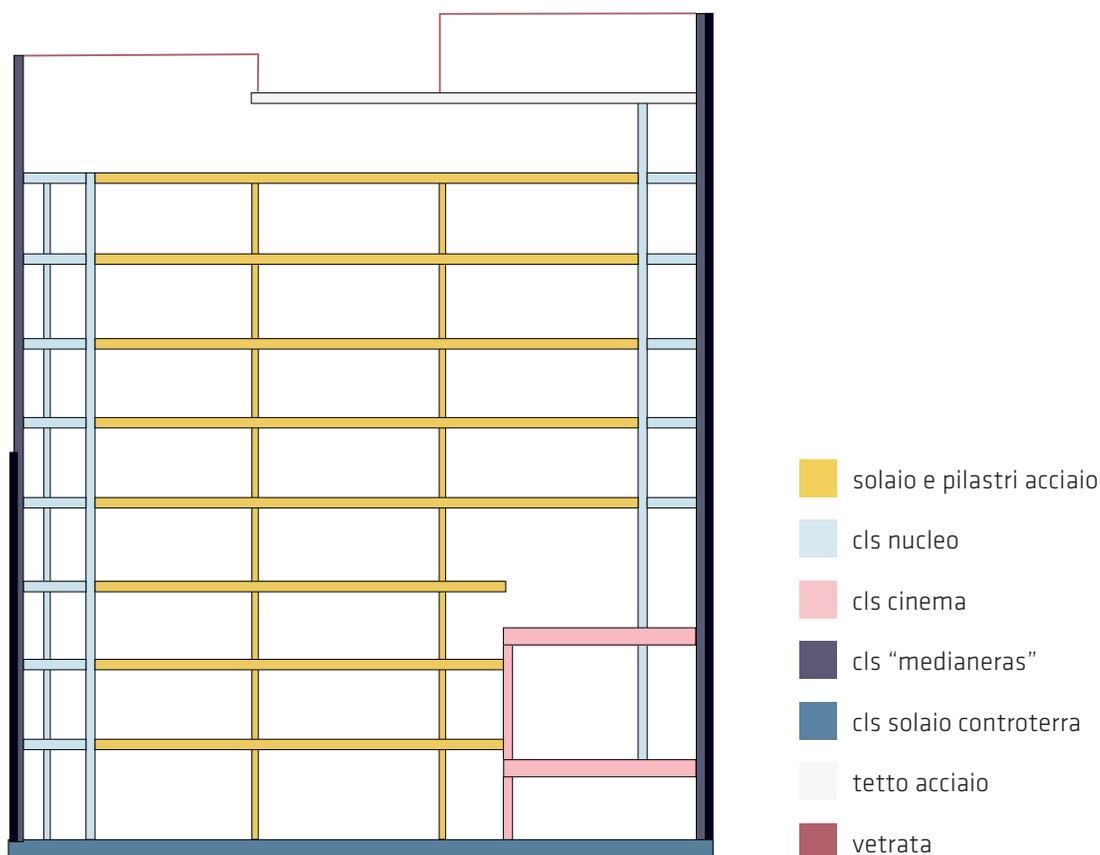


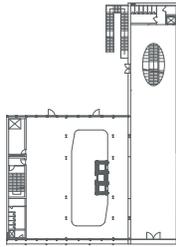
3.2 Emissioni dell'edificio in acciaio:

Il progetto è stato pensato in acciaio per permettere una realizzazione più moderna con luci maggiori.

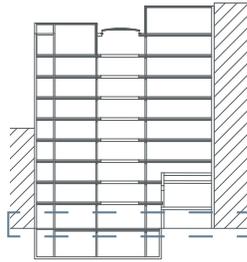
Con l'utilizzo di travi HEA 500 è stato possibile progettare uno spazio completamente libero con una luce massima tra i pilastri di quasi 9.5m incastinando come una "pietra preziosa" la torre tra i due edifici esistenti.

La torre è composta quindi da una struttura quasi completamente metallica tranne i due nuclei laterali che per una questione di facilità di costruzione sono stati pensati in calcestruzzo armato e l'ex cinema che mantiene la sua forma e materialità originale.

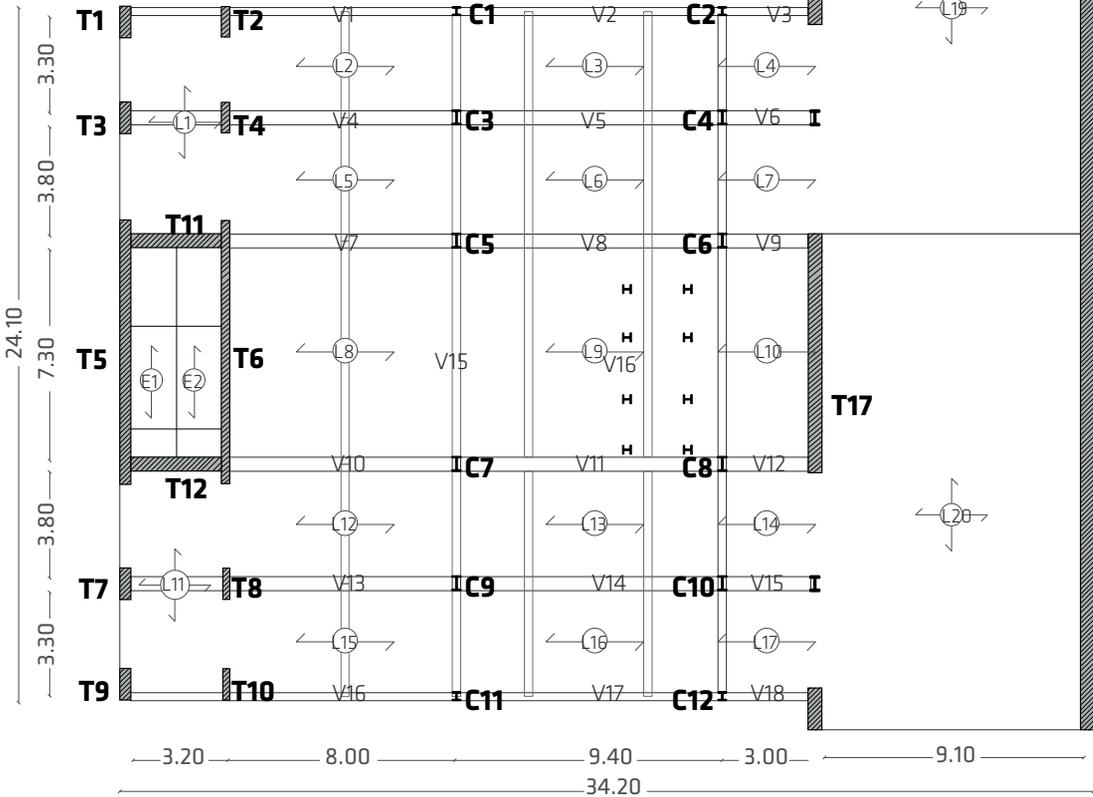
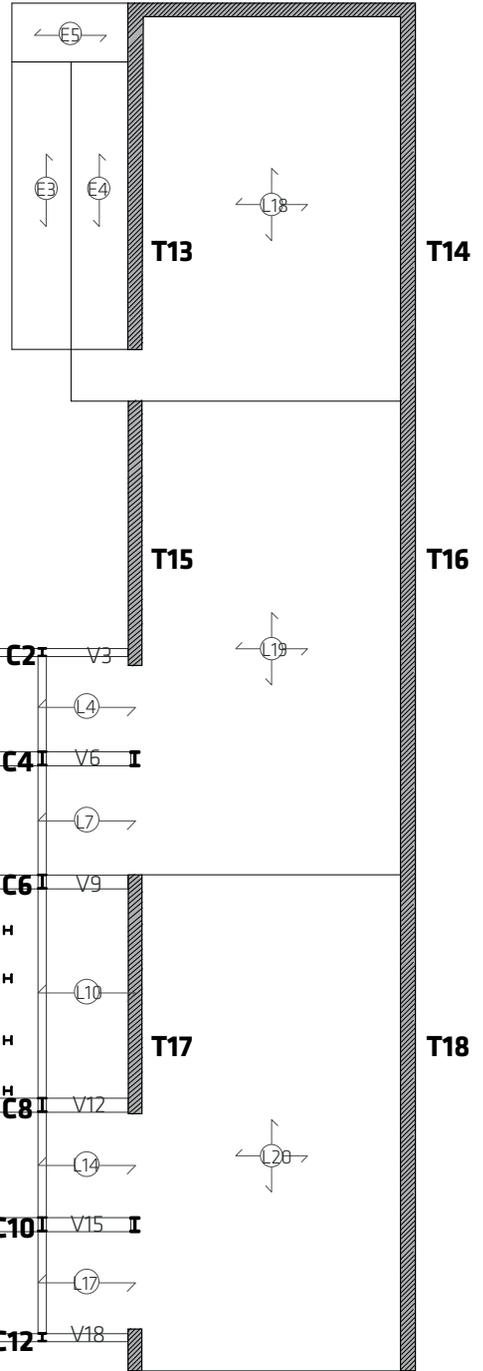




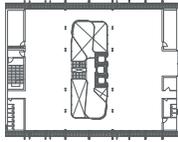
Pianta piano terra



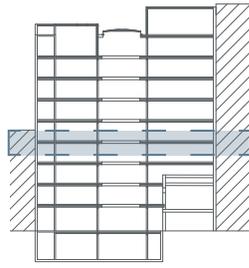
Sezione trasversale



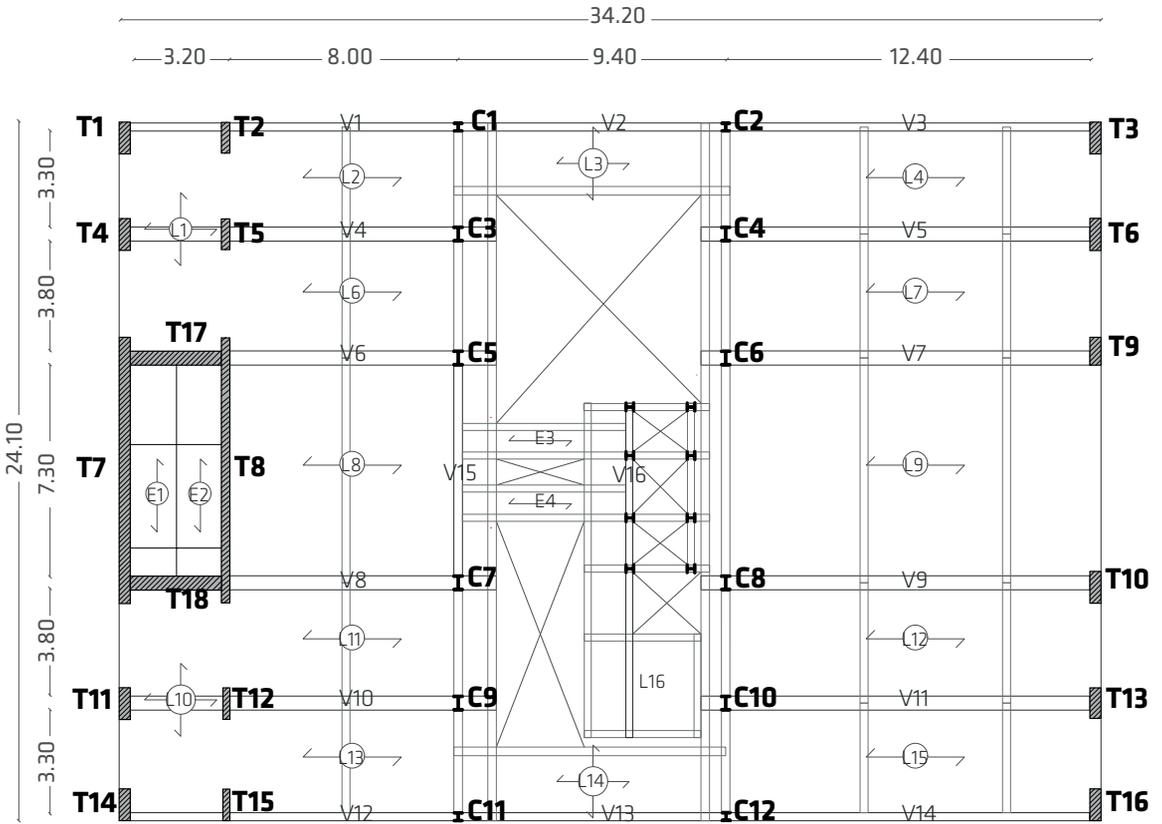
Pianta strutturale piano terra



Pianta tipo



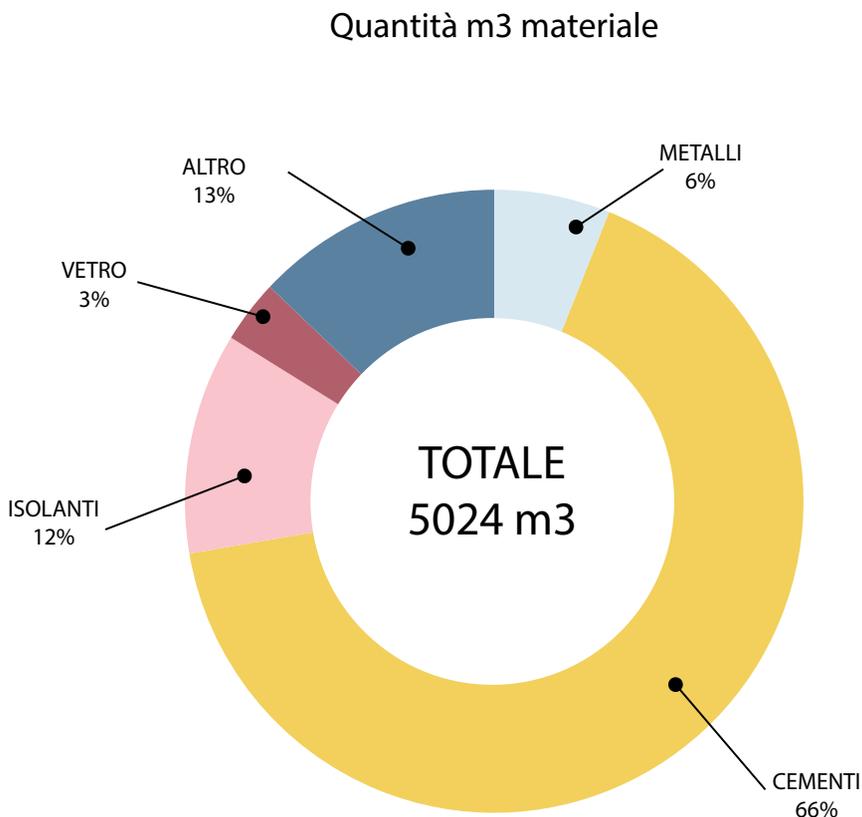
Sezione trasversale



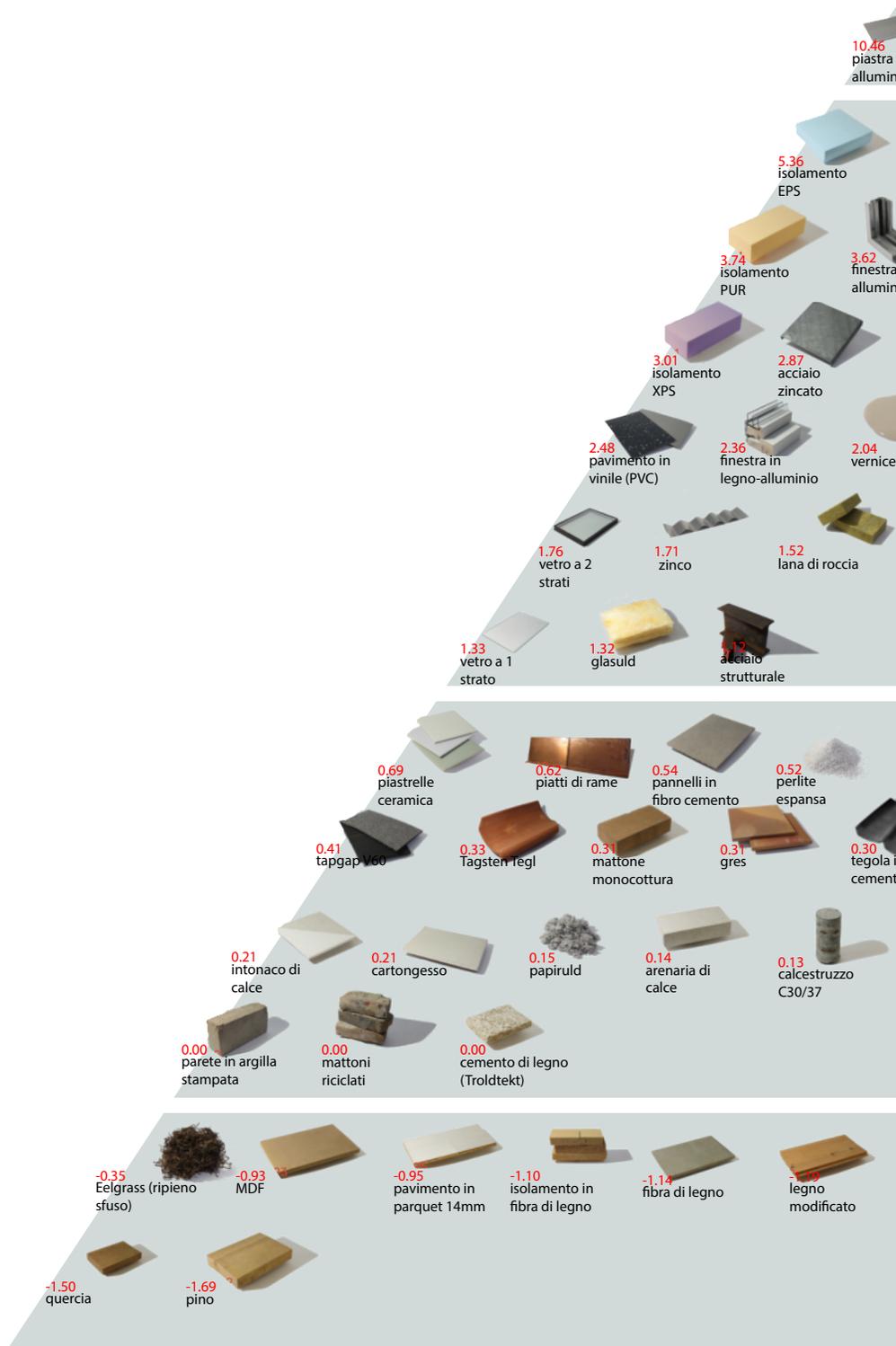
Pianta strutturale piano tipo

Si definiscono quindi le varie stratigrafie dei pacchetti costruttivi e viene effettuato un computo metrico semplificato della quantità dei materiali di cui è composto l'intero edificio (vedi allegati).

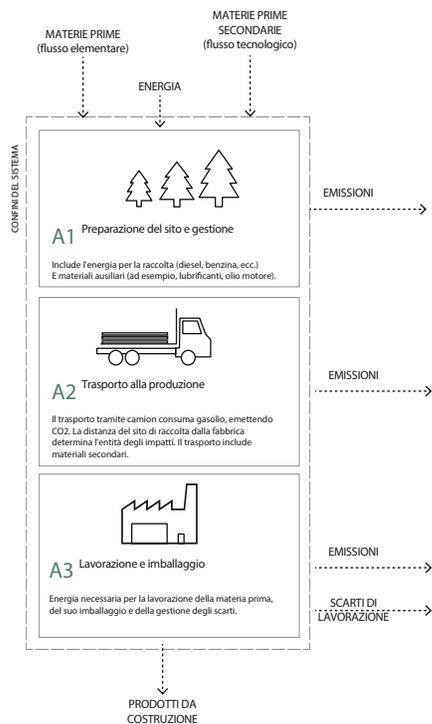
Degli oltre 5000m3 di materiale utilizzato, il 66% è composto dai vari "calcestruzzo" quindi il calcestruzzo delle pareti di fondazione e dei vari solai intermedi, seguiti da un 12% di isolanti che permettono una prestazione energetica adeguata alle nuove normative locali e solo il 6% della quantità totale dei materiali utilizzati è la percentuale di metalli, travi pilastri e lamiere grecate.



Valore KgCO₂eq/Kg



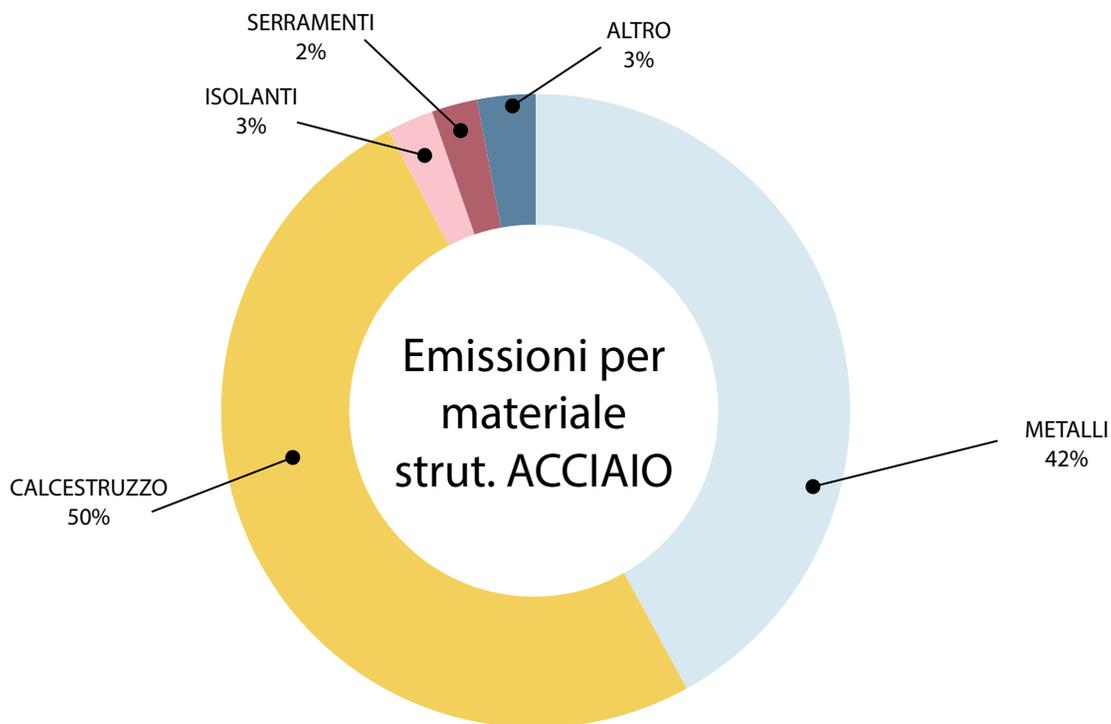
Attraverso i valori della piramide di Byggeriet, ma-pyramidens generata da CINARK dalla Royal Academy in Danimarca nel 2019, viene poi calcolato il GWP (Global Warming Potential) emesso da ogni singolo elemento strutturale per le fasi A1-A3, cioè quelle dall'estrazione alla produzione,



Si noti come metalli ed isolanti occupino i posti più alti nella piramide rendendoli quindi gli elementi con l'impatto maggiore sull'ambiente, seguiti dalle varie tipologie di calcestruzzo con un GWP vicino allo zero e poi dai materiali naturali che al posto di emettere KgCO₂e_q la sottraggono grazie alla loro capacità intrinseca di stoccaggio rendendoli quindi i materiali più amichevoli all'ambiente.

Ci aspettiamo quindi che i valori di emissione dei vari elementi in calcestruzzo si mantengano più o meno costanti a livello percentuale di quelli dei m³ utilizzati, mentre quelli dei metalli aumentino nettamente.

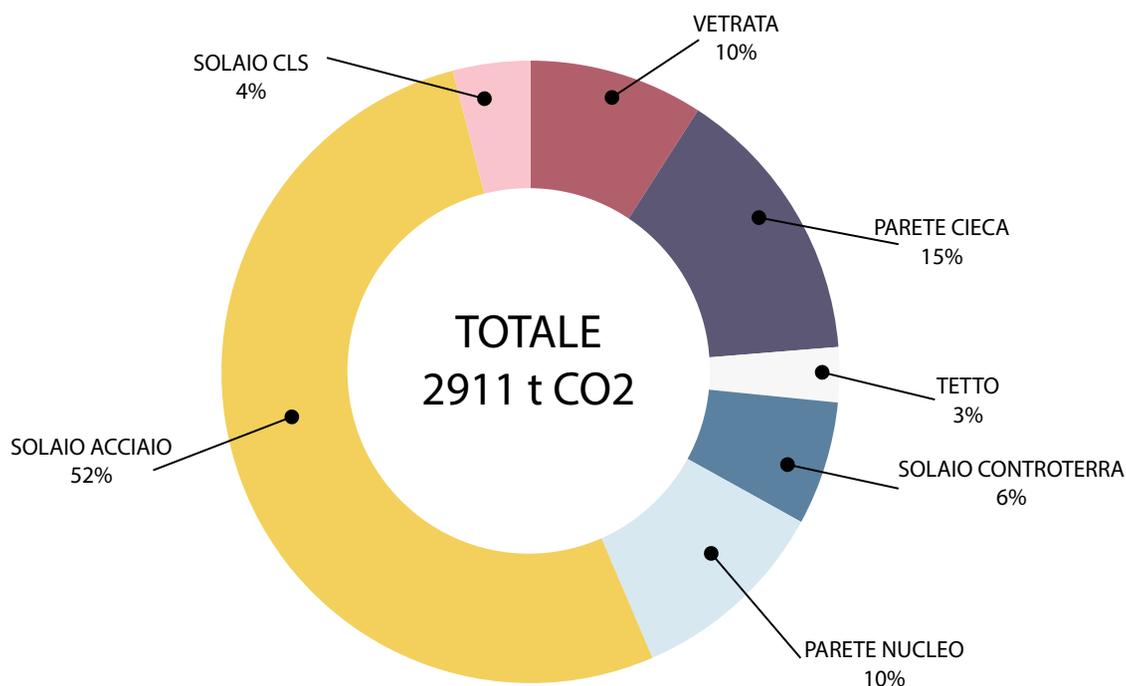
Come volevasi dimostrare, si nota che i metalli, pari al 6% dei m³, sono i responsabili del 42% delle emissioni totali dell'edificio mentre il calcestruzzo si mantiene costante ad un 50%.



Dal calcolo generale si evince dunque che l'emissione totale per la sola produzione dei materiali necessari alla costruzione è pari a 2892870,083 Kg di Co2, quasi 3000 tonnellate che corrispondano all'emissione annua di circa 1930 automobili.

Per quanto riguarda i pacchetti strutturali, si nota che gli elementi più incidenti sul valore totale dell'edificio sono principalmente: il solaio in acciaio che produce più della metà delle emissioni totali, le due "medianeras", le pareti cieche in calcestruzzo laterali, e i nuclei anch'essi in calcestruzzo.

Emissioni CO2 elementi strutturali



3.3 Calcolo GWP dell'edificio in legno:

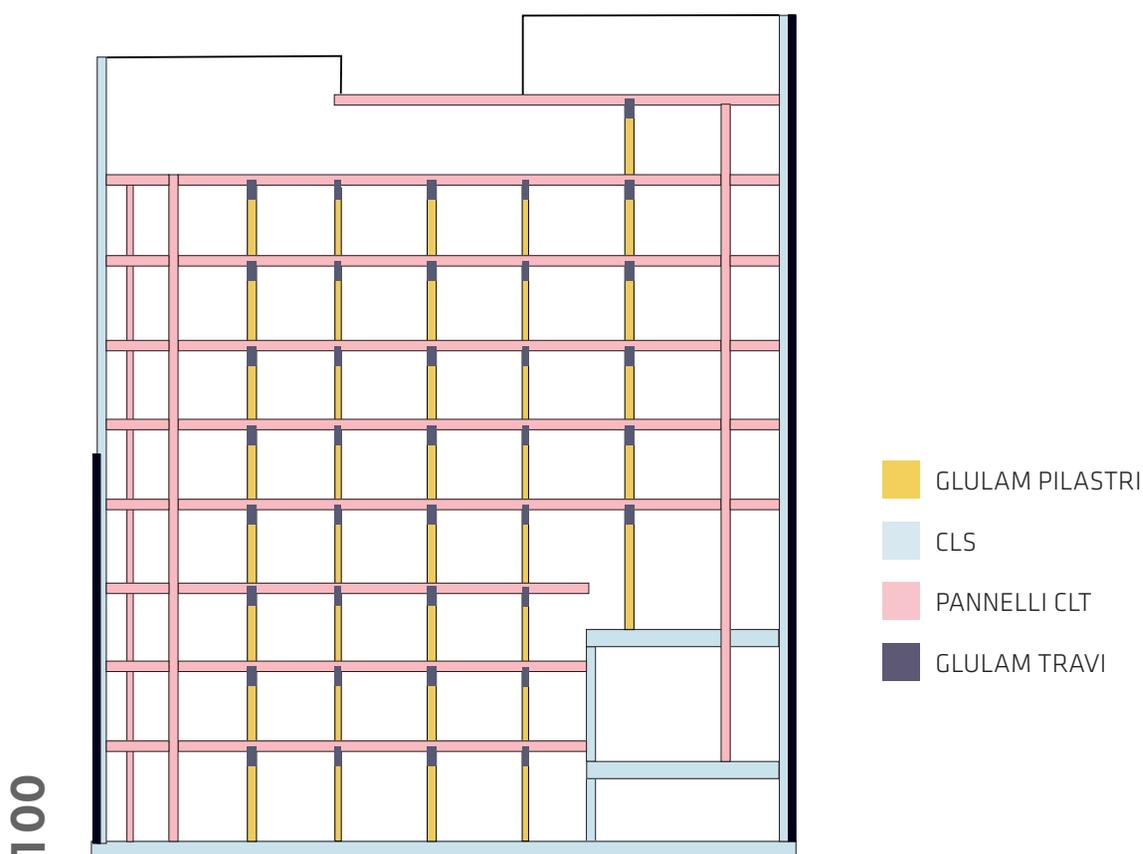
Ma cosa succederebbe se invece di usare i valori in cima alla piramide si usassero quelli alla base? Quale sarebbe la differenza di impatto se si cambiasse il concept strutturale passando da uno in acciaio a uno in legno?

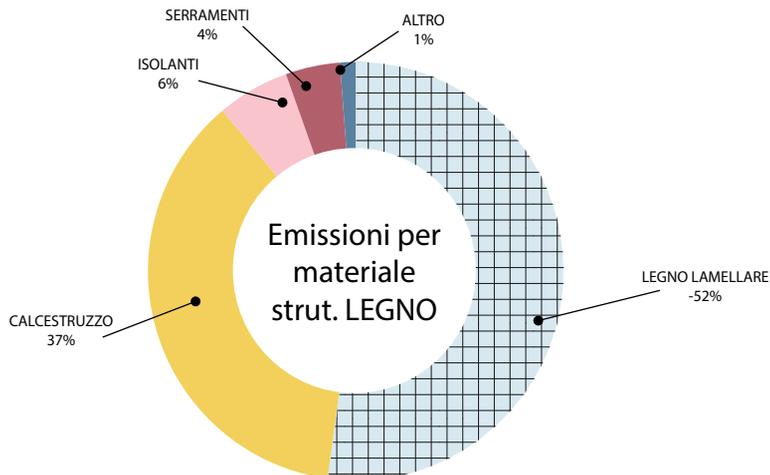
Si ipotizza quindi un nuovo edificio, di ugual forma, dimensione e funzione e si decide di sostituire i materiali metallici con altri lignei mantenendo però uguali gli isolanti per ottenere un edificio con le stesse prestazioni energetiche.

Per far questo ed evitare il pre-dimensionamento del nuovo ipotetico edificio, si prende come esempio

il modello del WIDC di Michael Green, simile in altezza e area e applicando gli stessi elementi strutturali conservandone le distanze e dimensioni.

Le travi ed i pilastri HEA500 vengono sostituiti e raddoppiati di numero con elementi in GLULAM (per ottenere luci minori) mentre i solai, precedentemente pensati con l'utilizzo di una lamiera grecata e un getto di calcestruzzo armato, e i muri dei due nuclei laterali, vengono sostituiti con pannelli di CLT, lasciando invariate le strutture delle fondazioni, dell'ex cinema e delle pareti cieche laterali.

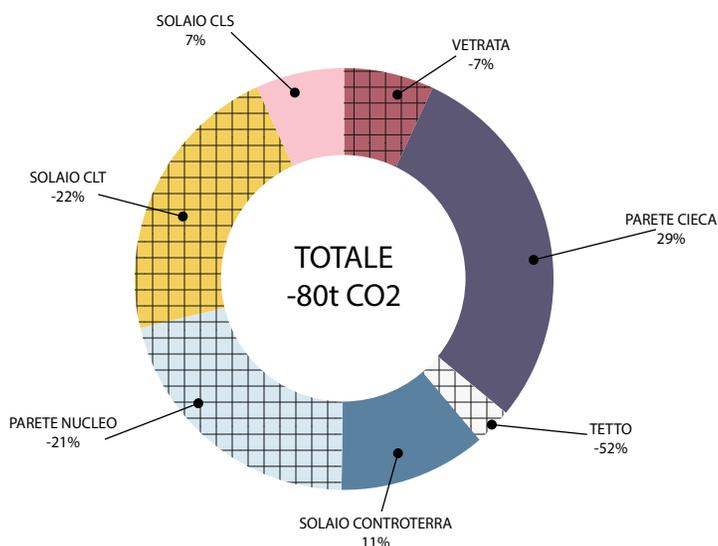




Ricalcolando allo stesso modo le emissioni e paragonandole a quelle precedentemente riscontrate è immediato notare la differenza tra i due (vedi allegati).

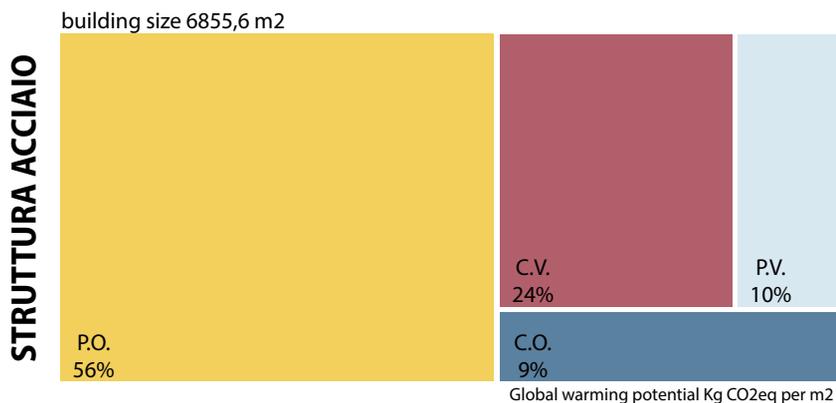
Dalle 3000 tonnellate di CO₂ prodotte dall'edificio in acciaio si passa ad un valore negativo di circa 80 tonnellate, -79739,821 Kg di Co₂. È come se una cinquantina di macchine smettessero di circolare per un anno intero.

Gli elementi in legno inseriti non solo non producono emissioni, ma grazie alla loro composizione biologica riesco a stoccare al loro interno il 52% delle emissioni degli altri materiali dell'edificio.

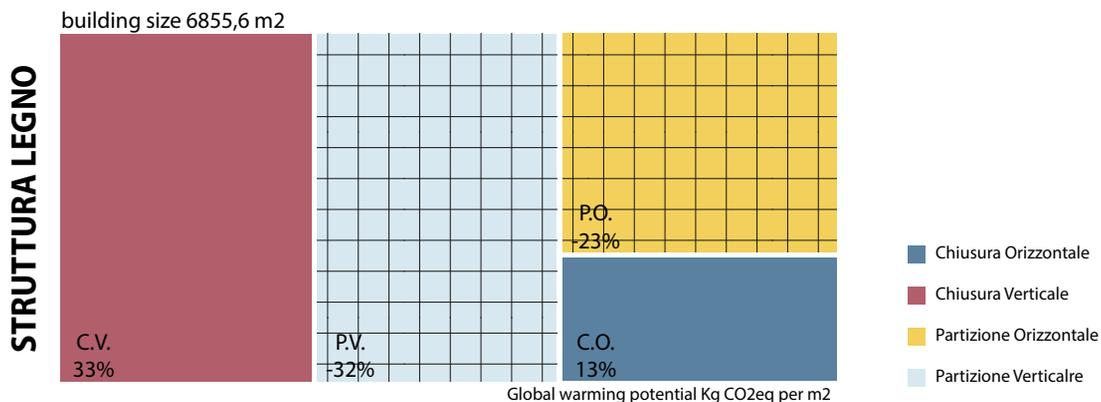


Paragonando il GWP (Global Warming Potential) delle fasi A1-A3 dei materiali da costruzione dei due edifici possiamo notare come un semplice cambio di materialità possa avere un effetto completamente differente sull'ambiente.

Il delta che si genera tra i due è pari a circa 450 KgCO₂eq/m².



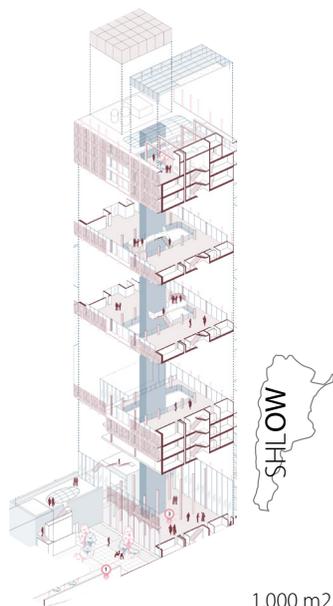
GWP 438



GWP -12

Paragonando il GWP/m² dell'edificio appena calcolato con quello del WIDC preso come modello vi è un leggero scarto dovuto al calcolo limitato alle sole fasi di produzione del materiale da costruzione.

Nonostante ciò, se paragonato ai casi studio precedentemente studiati notiamo che rientra perfettamente nei valori calcolati.



1.000 m²
x8 piani



4.820 m²
x7 piani

GWP tot

-80 t

-980 t

GWP/m²

-12

-29

CAPITOLO 4

**POTENZIALITÀ DELLO STOCCAGGIO A
GRANDE SCALA :**

“ I like to think that wood gives mother nature fingerprints in our buildings”
così descrive gli edifici in legno l'architetto canadese Michael Green.

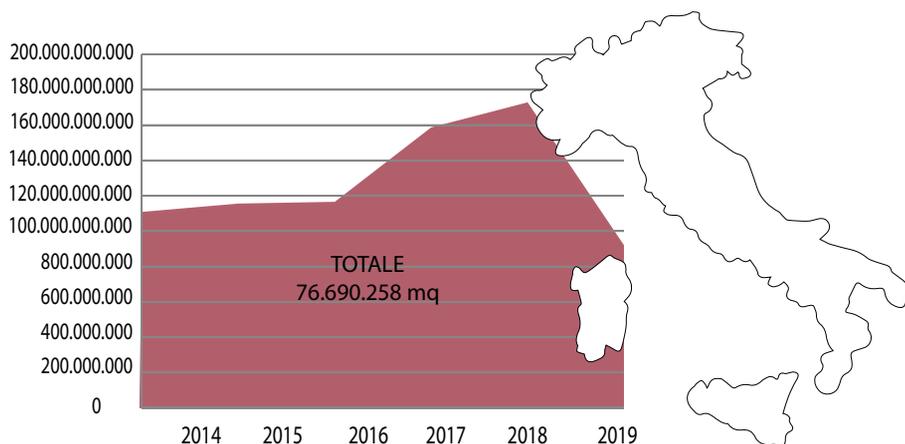
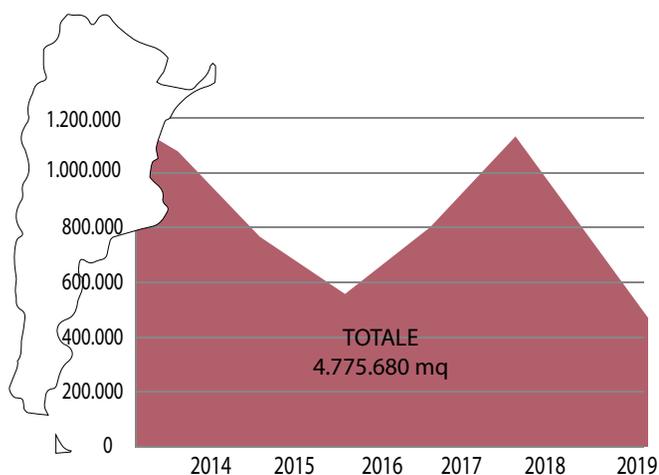
Secondo gli studi un edificio di 20 piani costruito in cemento armato produrrebbe una quantità di anidride carbonica pari a 1215 tonnellate mentre uno in legno ne stoccherebbe 3150t, la differenza tra le due tipologie sarebbe quindi di 4360t equiparabili alle emissioni di 900 auto in un solo anno. Diventa quindi interessante pensare a quale effetto avrebbero le nuove città del futuro se fossero costruite se non completamente per la maggior parte in legno.

Utilizzare il legno al posto dei vecchi materiali da costruzione con le nuove tecnologie porterebbe enormi benefici, non solo per la produzione del materiali, ma anche nel trasporto, nella velocità di costruzione, nella sicurezza a livello sismico e per ultimo ma non per importanza nell'efficienza energetica.

Come sarebbe vivere in un futuro creato in legno? Quali sarebbero i risultati delle differenti strade possibili da intraprendere?

4.1 Stoccaggio mancato :

Abbiamo quindi visto quali sono gli effetti di un solo edificio costruito in legno rispetto ad uno in acciaio, ma cosa comporterebbe questo processo su una scala maggiore? Utilizzando i dati della “Direccion General de Estadistica y Censos” dei metri quadri costruiti nella città di Buenos Aires tra il 2011 e il 2019 e quelli ISTAT dell’Italia nello stesso periodo, è stato effettuato il calcolo delle emissioni prodotte e del risparmio che sarebbero stato possibile se tutti gli edifici di nuova costruzione fossero stati costruiti con materiali organici come quello del progetto.



Per ottenere i risultati sono stati fatti dei calcoli approssimativi. Partendo dai dati certi è stato calcolato che il 25% dei m3 totali, ottenuti moltiplicando i mq dati per un'altezza media di 3.15m, era la quantità espressa di materiale da costruzione utilizzato. Poi per semplificare il calcolo è stato considerato che l'intera quantità ottenuta fosse in un caso solo calcestruzzo, essendo la maggior parte degli edifici sia in Argentina che in Italia costruiti con questo materiale, e nell'altro caso fosse solo legno lamellare ingegnerizzato.

Nel caso di Buenos Aires, la città, considerando che secondo la piramide di Beregneren 1mc di calcestruzzo C30 nelle fasi A1-A3 produce circa 288 KgCO2 eq, avrebbe emesso in soli 5 anni oltre 1000 tonnellate di CO2.

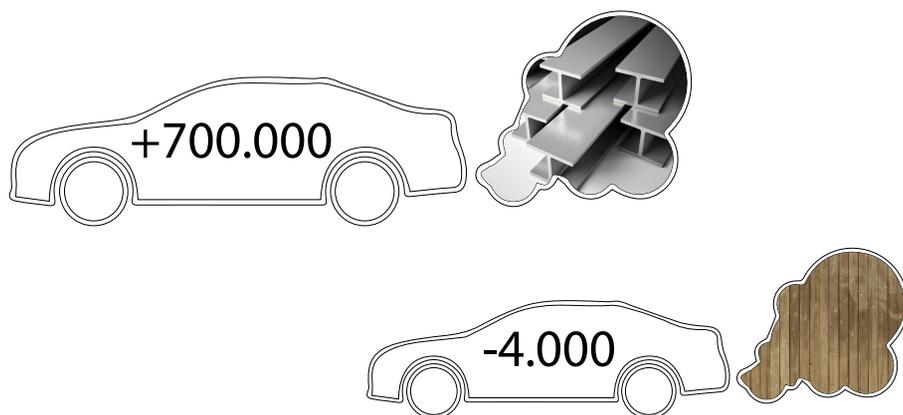
Per avere un'idea della quantità di emissioni, è come se dal 2014 al 2019 avessero iniziato a circolare oltre 700.000 auto in più.

Se la stessa quantità di m3 di calcestruzzo fosse stata sostituita a del legno massiccio non solo sarebbe stata evitata l'emissione precedentemente calcolata, ma sarebbe stato possibile stoccare carbonio nella città.

Per ogni m3 di legno lamellare ingegnerizzato sarebbero stati stoccati, sempre considerando solo le fasi A1-A3, 664KgCO2 eq, dando quindi un risultato finale delle emissioni complessive pari ad un valore negativo superiore alle 5 tonnellate di carbonio.

È come se al posto di aumentare, circa 4000 auto dal 2014 avessero smesso di circolare.

BUENOS AIRES

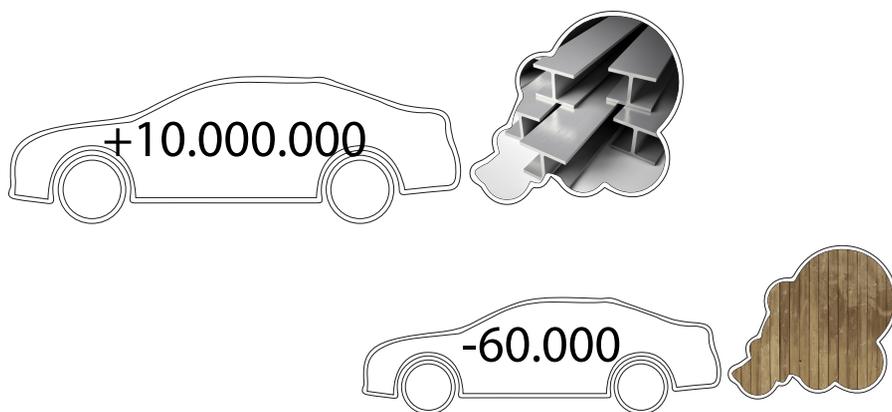


ITALIA

Se prendessimo invece come esempio uno stato intero, come l'Italia, considerando i dati ISTAT dei metri quadri costruiti nel bel paese nello stesso periodo di tempo, quindi tra il 2014 e il 2019, i risultati sarebbero chiaramente molto più alti.

Secondo il calcolo ottenuto, dal 2014 al 2019 l'Italia avrebbe emesso oltre 17.000 tonnellate di CO2 equivalenti all'emissione di oltre 10.000.000 automobili.

Se tutte le costruzioni fossero invece state fabbricate in legno si sarebbero potute stoccare oltre 90 tonnellate di carbonio, sarebbe stato come togliere dalla circolazione oltre 60.000 auto.



Chiaramente il calcolo presenta molti limiti, partendo dalle numerose semplificazioni dovute al calcolo, quindi pensando alla costruzione costituita da un solo materiale alla percentuale di m3 di materiale utilizzato ecc.

Inoltre si sta supponendo che il 100% della nuova edilizia possa essere realizzata in legno, cosa che la maggior parte dei paesi, tra cui i due considerati non possono permettersi a causa di una mancanza di materia prima. Nonostante sia l'Italia che l'Argentina abbiano un grande patrimonio boschivo che potrebbe essere utilizzato, non è realistico pensare che quest'ultimo basti per tutte le nuove costruzioni considerando la velocità di crescita delle città.

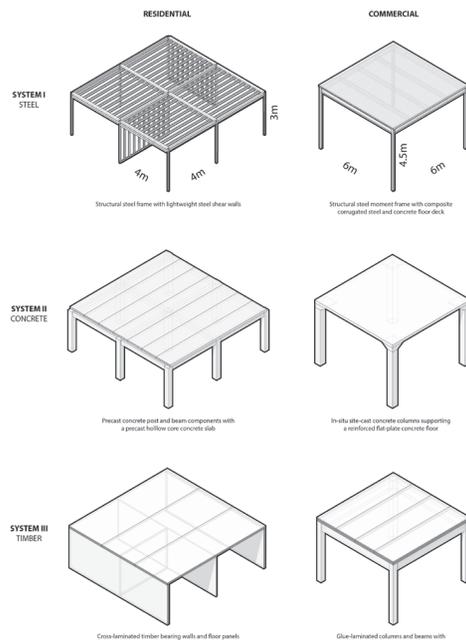
4.2 Potenziale stoccaggio futuro :

Uno studio effettuato in collaborazione tra alcune università di architettura americane e la Forestry and Environmental Studies di Yale ha studiato, attraverso l'utilizzo di 4 scenari, il potenziale di stoccaggio del carbonio degli edifici urbani e la riduzione delle emissioni di carbonio sostituendo i materiali a base biologica, basandosi sulla supposizione di un aumento demografico nelle città nei prossimi 30 anni di circa 2,3 miliardi con il conseguente bisogno di nuove infrastrutture abitative e commerciali.

Utilizzando 3 modelli di costruzione con un'altezza media, lo studio calcola la differenza che queste nuove costruzioni porterebbero a livello ambientale mondiale nei prossimi 30 anni se si dovesse mantenere la stessa quantità di produzione di edifici in legno (0.5%), poi se aumentasse al 10% poi 50% fino al 90%.

I sistemi sono si dividono in:

- Sistema I utilizza una struttura in acciaio con rinforzo in cemento supplementare
- Sistema II utilizza una struttura in cemento con rinforzo in acciaio
- Sistema III utilizza una struttura in legno di massa



3 sistemi

Source: Galina Churkina, Alan Organschi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E. Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019

Il ritmo della transizione è stato invece determinato dalla percentuale di nuovi edifici urbani progettati con il legno pari agli aumenti della popolazione urbana dei rispettivi continenti:

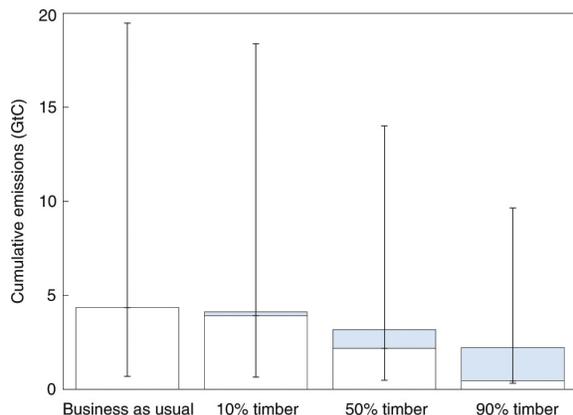
- Nel primo scenario, quello attuale, si ipotizza che la maggior parte degli edifici (99,5%) per i nuovi abitanti delle città (2,3 miliardi di persone) siano costruiti utilizzando un sistema composito, ad esempio acciaio e cemento, mentre solo lo 0,5% sarà costruito in legno nelle nuove aree urbane.
- Nello secondo scenario di transizione del 10% del legname si ipotizza che 0,23 miliardi di persone vivranno in nuovi edifici in legno, sia mentre il 90% continuerà a vivere in edifici progettati con acciaio e cemento.
- Nello terzo scenario di transizione del 50% del legname si ipotizza che 1,15 miliardi di persone vivranno in nuovi edifici in legno, pari alla quantità in quelli in acciaio e cemento.
- Nell'ultimo scenario di transizione del 90% del legname, infine, si suppone che la popolazione urbana, che vivrà in nuovi edifici in legno, sarà pari a 2,07 miliardi di persone e il restante 0.23 vivrà in edifici in acciaio e cemento.

Per ogni scenario sono calcolate le emissioni di CO₂ dei materiali di produzione necessari per i nuovi edifici, lo stoccaggio del carbonio nei nuovi edifici in legno e la quantità di legname necessaria per la costruzione.

Se gli standard di vita nelle nuove aree urbane dovessero aumentare in modo tale che la superficie pro capite si avvicini al massimo globale, le emissioni prodotte da materiali da costruzione a base minerale raggiungerebbero 19 GtC, ovvero il 20% del bilancio di carbonio rimanente per il periodo 2020-2050.

Si calcola quindi che nello scenario del 10% del legname, le emissioni prodotte dalla produzione di acciaio e calcestruzzo continueranno a dominare le emissioni totali prodotte dai materiali da costruzione per i nuovi edifici mentre nel caso del 50%, la percentuale si limiterebbe ad un aumento del 30%.

Il passaggio più drastico agli edifici in legno (scenario del 90% del legname) chiaramente produrrebbe il maggior risparmio di carbonio emissioni raggiungendo oltre l'80% delle emissioni cumulative prodotte dai materiali.



Emissioni accumulate

Source: Galina Churkina, Alan Organschi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E. Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019

Calcoli delle emissioni di CO2 derivanti dalla produzione di importanti materiali da costruzione

Per calcolare l'emissione di CO2 associata alla produzione di materiali per le future costruzioni (E_{2050}^{2020}) includendo l'emissione della struttura primaria è stata usata la seguente equazione:

$$E_{2050}^{2020} = (P_{2050} - P_{2020}) * (E_{ps} + E_{en})$$

$$E_{ps} = (k_w * M_w^c) * PR + (k_s * M_{sps}^c + k_c * M_{cps}^c) * (1 - PR)$$

$$E_{en} = (k_w * M_{wen}^c + k_b * M_{ben}^c) * PR + (k_s * M_{sen}^c + k_f * M_{fen}^c + k_g * M_{gen}^c + k_x * M_{xen}^c) * (1 - PR), \text{ where}$$

Dove:

P_{2020} = 4.38 miliardi - popolazione urbana nel 2020;

P_{2050} = 6.68 miliardi - popolazione urbana nel 2050;

PR - ritmo di transizione verso le città in legno, che è rispettivamente 0.1, 0.5 e 0.9 per il 10%, il 50% e il 90% in scenari di legname;

M_{wps}^c , M_{sps}^c , M_{cps}^c - massa pro capite di legno secco, acciaio, cemento nella struttura primaria (Supplementary Table 3);

M_{wen}^c , M_{ben}^c , M_{sen}^c , M_{fen}^c , M_{gen}^c , M_{xen}^c - massa pro capite di legno secco, fibra di legno, acciaio, fibra di vetro, cartongesso e XPS in allegato (tabella supplementare 4);

kw, ks, kc, kb, kf, kg, kx - coefficienti di emissione di CO2 per legno massello, acciaio, calcestruzzo, fibra di legno, fibra di vetro, cartongesso e XPS (tabella supplementare 6).

Scenario	Floor area per capita	CO ₂ emissions											
		Primary Structure				Enclosure				Primary Structure + Enclosure			
	[m ² /capita]	Steel+ Concrete System		Timber System		Steel+ Concrete System		Timber System		Steel+ Concrete System		Timber System	
	Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	
Business as usual	9.2	0.43	1.58	<0.01	<0.01	0.25	0.93	<0.01	<0.01	0.68	2.51	<0.01	0.01
	30	3.23	11.85	0.01	0.03	1.13	4.15	<0.01	0.01	4.36	16	0.01	0.04
	79.1	15.82	58.07	0.04	0.13	3.55	13.04	0.01	0.03	19.38	71.11	0.04	0.16
10% to timber	9.2	0.39	1.43	0.02	0.08	0.23	0.85	<0.01	0.02	0.62	2.27	0.03	0.1
	30	2.92	10.72	0.16	0.6	1.02	3.76	0.04	0.13	3.94	14.47	0.2	0.73
	79.1	14.31	52.53	0.71	2.6	3.21	11.8	0.15	0.54	17.53	64.32	0.86	3.14
50% to timber	9.2	0.22	0.79	0.11	0.41	0.13	0.47	0.02	0.09	0.34	1.26	0.14	0.5
	30	1.62	5.95	0.81	2.99	0.57	2.09	0.18	0.66	2.19	8.04	0.99	3.65
	79.1	7.95	29.18	3.54	13	1.79	6.55	0.73	2.69	9.74	35.74	4.28	15.69
90% to timber	9.2	0.04	0.16	0.2	0.75	0.03	0.09	0.04	0.16	0.07	0.25	0.25	0.91
	30	0.32	1.19	1.46	5.37	0.11	0.42	0.33	1.2	0.44	1.61	1.79	6.57
	79.1	1.59	5.84	6.38	23.4	0.36	1.31	1.32	4.85	1.95	7.15	7.7	28.25

Tabella 3. emissioni di carbonio

Source: Galina Churkina, Alan Organochi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E. Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019

Dall'analisi si evince che la costruzione di edifici in legno per i nuovi abitanti urbani potrebbe immagazzinare 0,01-0,68 GtC l'anno a seconda dello scenario e della superficie media pro capite aumentando l'attuale pozzo di carbonio nei prodotti di legno di lunga durata, che fluttua tra 0,05 e 0,09 GtC l'anno.

In 30 anni si potrebbero immagazzinare dai 2 ai 20 Gt di carbonio nello scenario del 90% del legname, dall'1 all'11 Gt nello scenario del 50% e dal 0,25 al 2,3 Gt nello scenario del 10% del legname.

Il carbonio accumulato nelle città del legname per oltre trent'anni ammonterebbe allo 0,1-9% (a seconda dello scenario) dell'attuale pool di carbonio nella biomassa fuori terra degli alberi viventi (~ 220 GtC) e aumenterebbe l'attuale riserva di carbonio delle aree urbane (1-12 GtC) dal 25 al 170%.

Calcoli dello stoccaggio del carbonio negli edifici in legno e relativa domanda di legname

Per stimare la massa di carbonio negli edifici in legno costruiti tra il 2020 e il 2050 (M_{2020}^{2050}) si utilizzano le seguenti equazioni:

$$M_{2020}^{2050} = (P_{2050} - P_{2015}) * M_w^c * CW * PR$$

Dove:

M_w^c - massa di legname o fibra di legno pro capite (tabella 3 e 4);

CW - rapporto carbonio-legno.

Scenario	Floor area per capita [m ² /capita]	Carbon Storage				Carbon Transfer to Buildings				Timber Demand			
		Primary Structure		Primary Structure + Enclosure		Primary Structure		Primary Structure + Enclosure		Primary Structure		Primary Structure + Enclosure	
		Gt C	Gt CO ₂	Gt C	Gt CO ₂	Gt C/yr	Gt CO ₂	Gt C/yr	Gt CO ₂	Gt C/yr	Gt CO ₂	Gt C/yr	Gt CO ₂
Business as usual	9.2	0.01	0.04	0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	30	0.03	0.11	0.04	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	79.1	0.09	0.32	0.11	0.4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
10% to timber	9.2	0.21	0.76	0.25	0.92	0.007	0.025	0.008	0.3	0.014	0.05	0.017	0.06
	30	0.70	2.49	0.85	3.12	0.023	0.083	0.028	0.10	0.045	0.17	0.057	0.21
	79.1	1.81	6.63	2.27	8.31	0.06	0.221	0.076	0.28	0.12	0.44	0.151	0.55
50% to timber	9.2	1.0	3.8	1.27	4.64	0.034	0.13	0.042	0.16	0.076	0.25	0.084	0.31
	30	3.40	12.45	4.26	15.62	0.113	0.41	0.142	0.52	0.226	0.83	0.284	1.04
	79.1	9.03	33.13	11.33	41.57	0.301	1.10	0.378	1.39	0.602	2.21	0.755	2.78
90% to timber	9.2	1.86	6.84	2.28	8.36	0.062	0.23	0.076	0.28	0.124	0.46	0.152	0.56
	30	6.11	22.41	7.66	28.12	0.204	0.75	0.255	0.94	0.407	1.49	0.511	1.87
	79.1	16.25	59.64	20.39	74.83	0.542	1.99	0.68	2.49	1.083	3.98	1.359	4.99

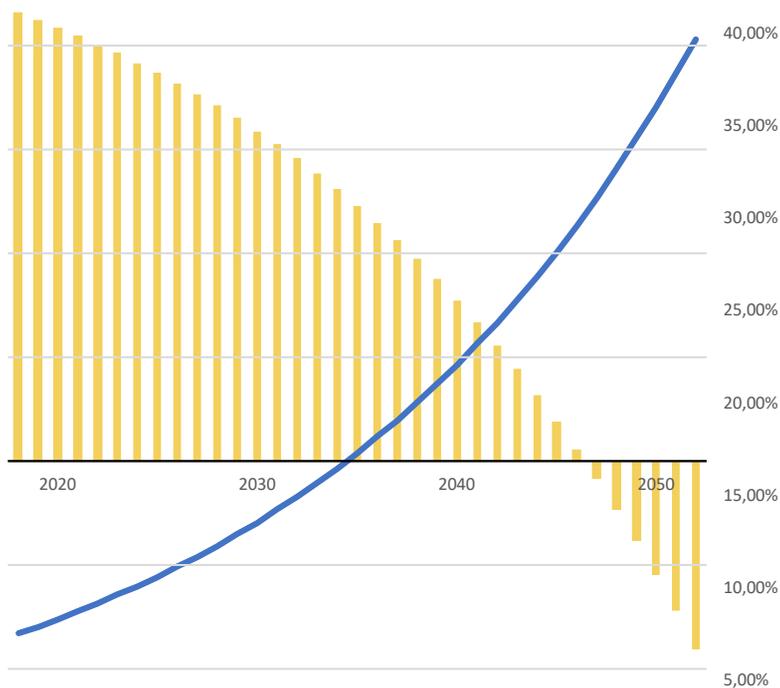
Tabella 2. stoccaggio di carbonio

Source: Galina Churkina, Alan Organschi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E. Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019

Se applicassimo questi valori allo stato Italiano, noteremmo che basterebbe riuscire a portare la percentuale di costruzioni in legno al 30% per evitare qualsiasi tipo di emissione dovuta all'edilizia.

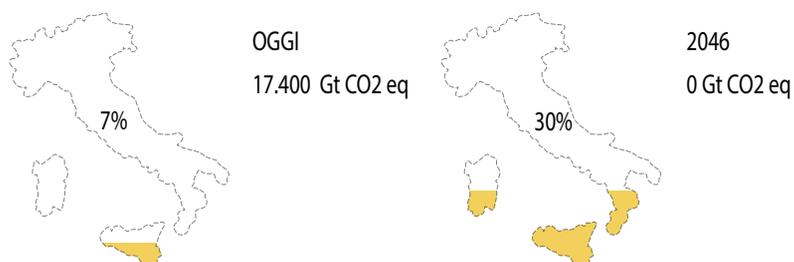
In Italia, secondo il quarto rapporto della bioedilizia in legno di FLA del 2019, la percentuale delle nuove costruzioni in legno continua a crescere ogni anno del 5% rispetto all'anno precedente, soprattutto nelle regioni del Nord. Al momento è pari al 7.2%.

Ipotizzando che questo andamento si mantenga costante nel tempo, si può determinare in che anno si raggiungerà una emissione dei materiali da produzione pari a zero.



Utilizzando lo stesso metodo di calcolo proposto dall'articolo precedentemente trattato, calcoliamo la diminuzione di emissioni date dai materiali da costruzioni grazie al relativo aumento di edifici in legno che si suppone cresceranno con il passare del tempo.

Notiamo quindi che nel 2046, quando le costruzioni in legno saranno pari al 30% delle costruzioni totali, le emissioni saranno pari a zero.



CONCLUSIONI

ITA:

L'analisi finale ha lo scopo di mettere a confronto i risultati ottenuti nelle emissioni date dalle strutture in acciaio e quelle in legno e le possibili ripercussioni che potrebbero apportare alle città del futuro offrendo così una possibilità alla risoluzione del problema climatico.

Prima di giungere alle conclusioni si ritiene importante sottolineare i limiti dei vari calcoli eseguiti.

Si ricordi che il computo metrico eseguito è un computo semplificato, dove stono stati considerati soli gli elementi di principale importanza, sono dunque state ignorate le quantità dei vari elementi di connessione, inoltre i valori di GWP dei vari componenti corrispondono solo alle fasi A1-A3 dei materiali, quindi sono state calcolate sole le emissioni dovute all'estrazione, al trasporto in fabbrica e alla creazione dei vari materiali da costruzione.

Si consideri inoltre che nel seguente studio non sono stati considerati i limiti di durabilità, smaltimento/riutilizzo e approvvigionamento dei relativi materiali.

Ricapitolando, nel caso di progetto svolto in Argentina, le emissioni maggiori sono apportate dai materiali metallici, che si classificano nella parte più alta della piramide di Byggeriet e dagli elementi in calcestruzzo che corrispondono al 66% dei m³ dei materiali totali utilizzati.

Mettendolo a confronto con l'ipotetico edificio progettato in legno si nota che tra le due strutture vi è un delta di quasi 3080t di CO₂. Uno apporta un'emissione pari a quella prodotta da 1930 automobili in un anno e l'altra ha la capacità di stoccare 80 tonnellate. Si tenga presente che in questo confronto sono state modificate solo ed esclusivamente le parti metalliche dell'edificio mantenendo gli elementi di isolamento uguali.

ESP:

El análisis final tiene como objetivo comparar los resultados obtenidos en las emisiones dadas por las estructuras de acero y madera y las posibles repercusiones que podrían tener en las ciudades del futuro, ofreciendo así la posibilidad de solucionar el problema climático.

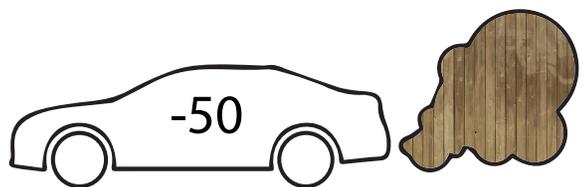
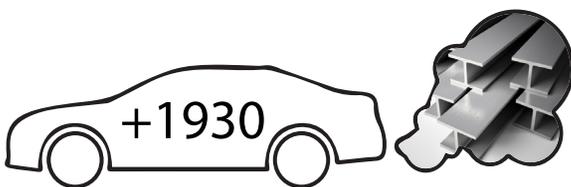
Antes de llegar a conclusiones, se considera importante subrayar las limitaciones de los distintos cálculos realizados.

Recuerde que el cálculo métrico realizado es un cálculo simplificado, donde solo se consideraron los elementos de mayor importancia, por lo tanto se ignoraron las cantidades de los distintos elementos de conexión, además los valores de GWP de los distintos componentes corresponden solo a las fases A1-A3 de materiales, por lo que solo se calcularon las emisiones debidas a la extracción, el transporte a la fábrica y la creación de los distintos materiales de construcción.

También debe tenerse en cuenta que en el siguiente estudio no se consideraron los límites de durabilidad, eliminación / reutilización y obtención de los materiales relacionados.

En resumen, en el caso del proyecto realizado en Argentina, las mayores emisiones son traídas por los materiales metálicos, que se clasifican en la parte más alta de la pirámide de Byggeriet y por los elementos de hormigón que corresponden al 66% del m³ del total de materiales utilizados.

Comparándolo con el hipotético edificio diseñado en madera, se puede observar que entre las dos estructuras hay un delta de casi 3080t de CO₂. Uno trae una emisión igual a la que producen los coches de 1930 en un año y el otro tiene capacidad para almacenar 80 toneladas.



Considerando che nella piramide gli isolanti si trovano quasi in cima, si provi ad immaginare quanto maggiore potrebbe ancora essere il divario tra i due se si utilizzassero isolamenti più eco-friendly.

Con la seguente analisi non si cerca di imporre una nuova maniera costruttiva, ma si vuole affermare il grande potenziale ancora inespresso dell'utilizzo del legno nelle costruzioni all'interno delle città, sviluppando una proposta che è possibile applicare a infiniti casi e che potrebbero essere integrati ad altre tecniche costruttive generando edifici ibridi con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale dato dall'edilizia.

Se nei prossimi 30 anni si riuscisse ad aumentare l'utilizzo del legno nelle nuove costruzioni ad un 10% si riuscirebbero a stoccare poco più di 8Gt di CO₂, ma se questa percentuale aumentasse al 50% allora le città riuscirebbero ad intrappolare al loro interno oltre 40Gt.

Se invece riuscissimo a costruire i nuovi edifici per il 90% in legno allora si riuscirebbero a stoccare 75Gt di CO₂ evitando l'emissione predetta di circa 60Gt che si produrrebbero nei prossimi 30 anni se continuassimo a costruire con i soliti metodi costruttivi principalmente basati sull'utilizzo di acciaio e cemento.

In Italia basterebbe, mantenendo la crescita costante, raggiungere il 30% delle nuove costruzioni in legno per contrastare le emissioni dovute all'edilizia.

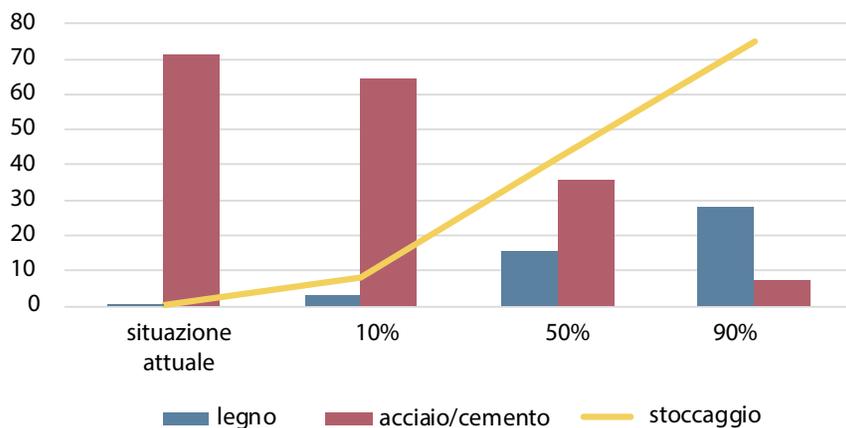
Tenga in cuenta que en esta comparación solo se han modificado las partes metálicas del edificio, manteniendo los elementos de aislamiento iguales. Teniendo en cuenta que los aislantes de la pirámide están casi en la parte superior, imagine cuánto mayor podría ser la brecha entre los dos si se usara un aislamiento más ecológico.

Con el siguiente análisis no pretendemos imponer un nuevo método constructivo, sino que queremos afirmar el gran potencial aún inexpressado del uso de la madera en edificaciones dentro de las ciudades, desarrollando una propuesta que se puede aplicar a infinidad de casos y que podría ser integrado con otras técnicas de construcción mediante la generación de edificios híbridos con el objetivo de reducir el impacto ambiental de los edificios.

Si en los próximos 30 años fuera posible aumentar el uso de madera en nuevos edificios al 10%, sería posible almacenar algo más de 8Gt de CO₂, pero si este porcentaje aumentara al 50%, las ciudades podrían atrapar en su interior más allá. 40Gt.

Si, por el contrario, pudiéramos construir los nuevos edificios con un 90% de madera, entonces podríamos almacenar 75 Gt de CO₂ evitando la emisión prevista de alrededor de 60 Gt que se produciría en los próximos 30 años si continuamos construyendo con los métodos de construcción habituales basados principalmente en el uso de acero y hormigón.

Emissioni future utilizzo del legno nelle nuove costruzioni misurate in GtCO₂



Come evidenziato nella tesi i benefici di queste operazioni potrebbero avere dei risultati veloci e stabili, che insieme alle altre politiche già da tempo applicate nella nostra società potrebbero aiutare al reale raggiungimento degli obiettivi stabiliti dall'accordo di Parigi entro i tempi stabiliti, cosa che al momento non sembra poter essere realizzabile.

È però importante ricordare che i pozzi di carbonio artificiali nelle città devono essere mantenuti e gradualmente migliorati in concomitanza ai pozzi di carbonio delle foreste per garantire un blocco a lungo termine del carbonio sulla terra.

Questo può essere ottenuto:

- Generando dettagli costruttivi più durevoli che promuovono una maggiore durata della costruzione in legno,
- Stimolando i mercati del legno e delle tecnologie per permettere la conversione dell'usato in altri prodotti di lunga durata
- Regolando la gestione sostenibile delle foreste.

L'aumento della domanda di legname nelle costruzioni dovrebbe essere supportata da un forte impegno giuridico e politico nella gestione sostenibile delle foreste, solidi schemi di certificazione forestale, responsabilizzazione delle persone che vivono nelle foreste, sforzi per limitare il disboscamento illegale ed esplorare bambù e altre fibre vegetali come validi sostituti del legname nelle regioni tropicali e subtropicali mentre le foreste biologicamente preziose o vulnerabili devono essere protette come riserve naturali.

Generare città come pozzi di carbonio artificiali vorrebbe dire sfruttare l'evoluzione dei processi di costruzione, che si verificheranno in ogni caso in futuro, per dare una soluzione valida al problema ambientale e climatico che siamo vivendo.

En Italia bastaría, manteniendo un crecimiento constante, llegar al 30% de los nuevos edificios de madera para contrarrestar las emisiones debidas a la construcción.

Como se destaca en la tesis, los beneficios de estas operaciones podrían tener resultados rápidos y estables, que junto con las demás políticas ya aplicadas desde hace algún tiempo en nuestra empresa podrían ayudar a alcanzar los objetivos marcados por el acuerdo de París en el plazo establecido, lo que momento no parece ser alcanzable.

Sin embargo, es importante recordar que los sumideros de carbono artificiales en las ciudades deben mantenerse y mejorarse gradualmente junto con los sumideros de carbono de los bosques para garantizar un bloqueo de carbono a largo plazo en la tierra.

Esto se puede lograr:

- Generando detalles de construcción más duraderos que promueven una mayor durabilidad de la construcción de madera,
- Estimular los mercados de la madera y las tecnologías para permitir la conversión de productos de segunda mano en otros productos duraderos.
- Regular la ordenación forestal sostenible.

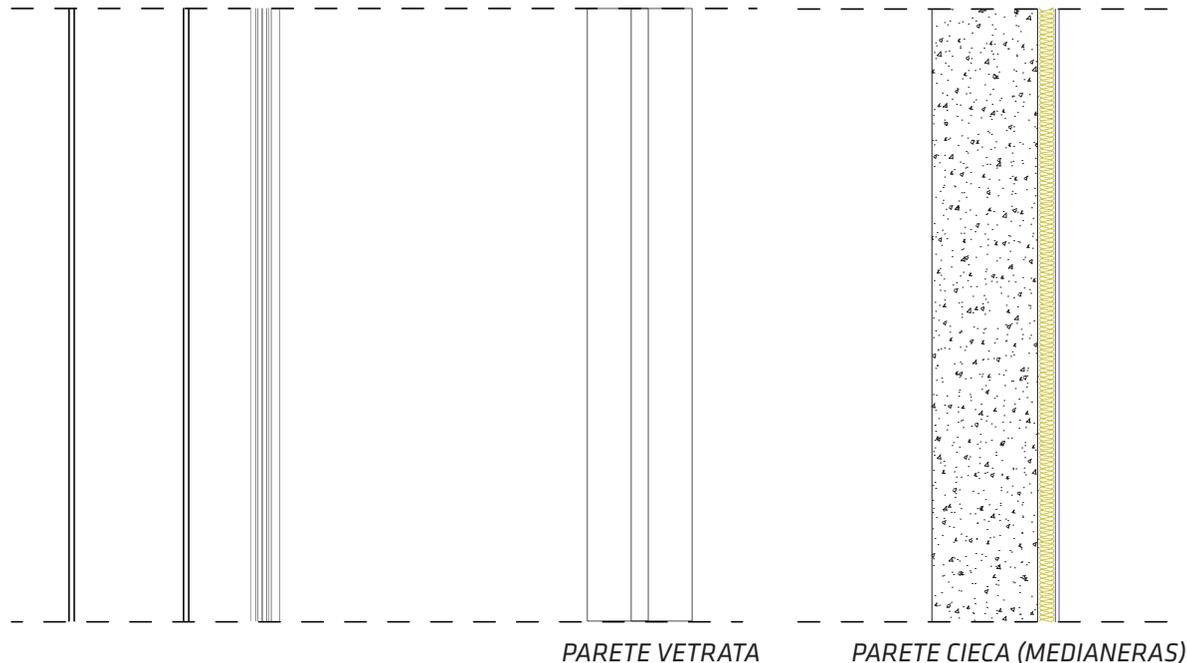
El aumento de la demanda de madera en la construcción debe estar respaldado por un fuerte compromiso legal y político con el manejo forestal sostenible, esquemas sólidos de certificación forestal, empoderamiento de las personas que viven en los bosques, esfuerzos para limitar la tala ilegal y explorar el bambú y otros. fibras vegetales como sustitutos válidos de la madera en regiones tropicales y subtropicales, mientras que los bosques biológicamente valiosos o vulnerables deben protegerse como reservas naturales.

Generar ciudades como sumideros artificiales de carbono supondría aprovechar la evolución de los procesos constructivos, que se producirán en cualquier caso en el futuro, para dar una solución válida al problema medioambiental y climático que estamos viviendo.

ALLEGATI

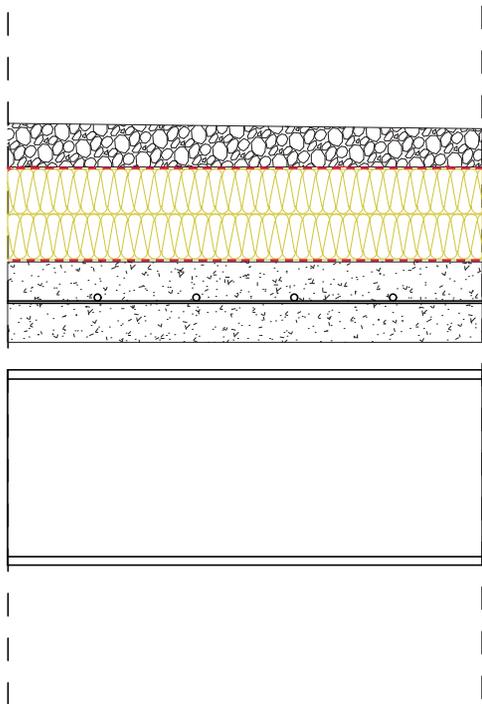
CHIUSURA VERTICALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	n. piani	Lungh. (m)	Area (m2)	Volume (m3)
C H I U S U R A V E R T I C A L E	pilastro in acciaio HEA 500	4	5			1			2,923
		4	4			8			
	serramento in PVC	2	30	4	0,08	2			
		2	11,6	1,8		1			
		2	30	4		1			
		2	27	4		4			
		2	24,27	4		1			
		2	24,27	5		1			
	frangisole microforato in alluminio	2	3,5	3,6	0,05	7			
		2	3,8	3,6		7			
		2	3,4	3,6		7			
		4	4,3	3,6		2			
	passerella in acciaio per manutenzione	8	3	3,6	0,15	6			
		2	21,3	1		1			
		1	21,3	1		1			
		1	24,3	1		1			
	profilo verticale in alluminio	2	34,4	1		6			
		4	27						
		2	28						
		2	42						
PARETE CIECA	parete calcestruzzo armato	8	38				552	0,09	49,68
		1	24,3	37	0,4				
		1	47,8	10,5	0,5		2130	975,09	
	isolante EPS con grafite	1	24,3	30	0,5				
		1	24,3	37	0,05				
		1	47,8	10,5			2130	44,955	
	pannello cartongesso	1	24,3	30		0,012			
		1	24,3	37					
		1	47,8	10,5			2130	10,7892	
		1	24,3	30					

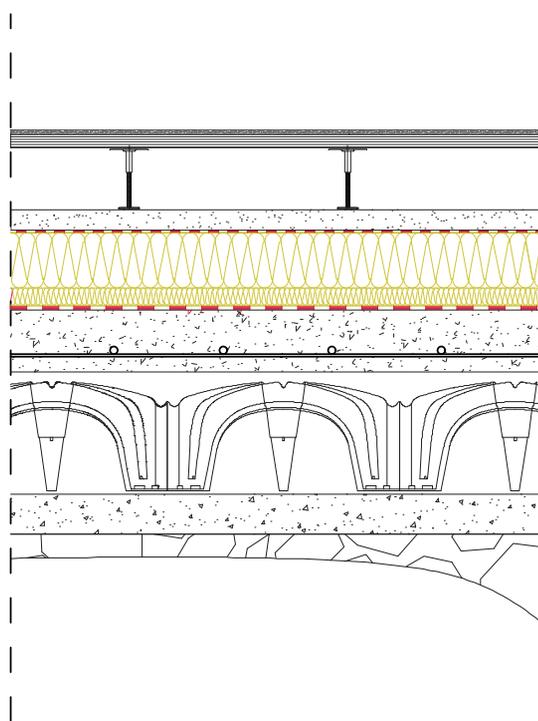


CHIUSURA ORIZZONTALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	n. piani	Area (m2)	Volume (m3)		
C H I U S U R A	TETTO	zavorra in ghiaia				0,12		394	47,28	
		membrana bituminosa impermeabilizzante				0,003		394	1,182	
		isolante poliuretano espanso				0,05		394	19,7	
		membrana al vapore				0,003		394	1,182	
		cls alleggerito di pendenza con polistirolo espanso				0,08		394	31,52	
		getto cls armato con rete elettrosaldata				0,12		394	47,28	
		lamiera grecata autoportante h:7cm				0,02		394	7,88	
		trave secondaria in acciaio HEA 280		2	17,7					0,5135328
				2	8,7					
		trave primaria in acciaio HEA 280		4	10					1,1904624
		4	7,6							
		2	26							
O R I Z Z O N I	S.TERRA	pavimento piastrelle ceramica				0,012		1030	12,36	
		massetto di allettamento alleggerito				0,05		1030	51,5	
		membrana al vapore				0,003		1030	3,09	
		isolante XPS estruso				0,18		1030	185,4	
		massetto di allettamento alleggerito				0,08		1030	82,4	
		getto cls armato con rete elettrosaldata				0,12		1030	123,6	
		vespaio areato a igloo				0,28		1030	288,4	
		magrone				0,1		1030	103	



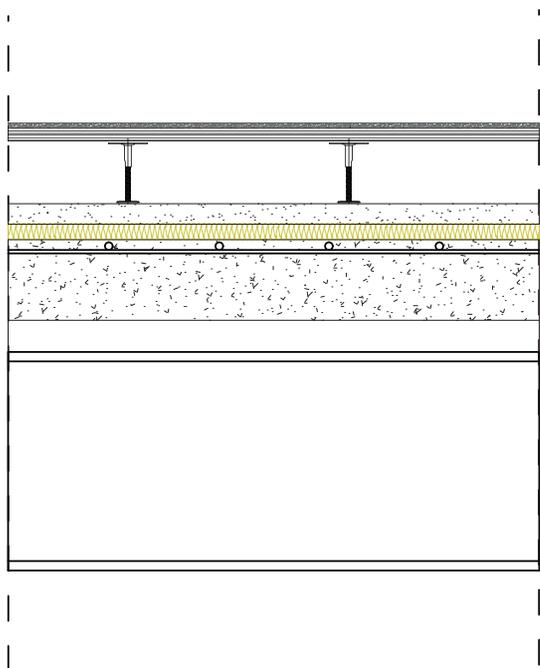
SOLAIO TETTO



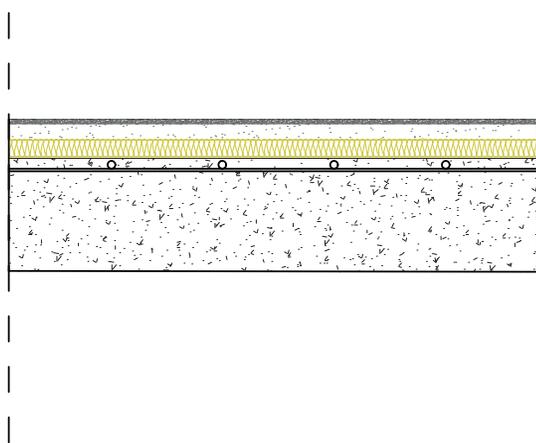
SOLAIO CONTROTERRA

PARTIZIONE ORIZZONTALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	Area x piano	n. piani	Area TOT (m2)	Volume (m3)
P A R T I Z I O N T A L E	S. ACCIAIO	pavimento flottante in acciaio zincato			0,012		480	4621	55,452
						362			
						355			
						536			
						570			
		massetto di allettamento alleggerito				0,05		4621	231,05
		isolante anticalpestio EPS con grafite				0,04		4621	184,84
		strato di cls armato con rete elettrosaldata				0,2		4621	924,2
		lamiera grecata autoportante h:7cm				0,02		4621	92,42
	O R I Z Z O N T A L E	trave secondaria in acciaio HEA 280	9	24					
5			5						
20			24						
trave primaria in acciaio HEA 500		12	8						9,006
		20	8						
trave primaria in acciaio HEA 280		6	20						3,79314
		10	27						
S. CLS	pavimento piastrelle ceramica				0,012	222	1	605	7,26
	massetto di allettamento alleggerito				0,09	383	1	605	54,45
	isolante termico lana di roccia				0,05			605	30,25
	getto cls armato con rete elettrosaldata				0,3			605	181,5
	pannello cartongesso				0,012			605	7,26



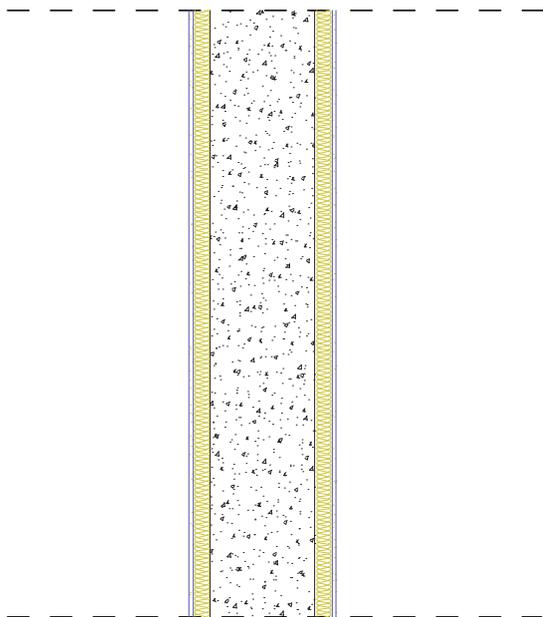
SOLAIO INTERMEDIO



SOLAIO CLS

PARTIZIONE VERTICALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	Area x piano	n. piani	Area TOT (m2)	Volume (m3)	
P A R T - V E R T I C	isolante EPS con grafite				0,05			1823,7	91,185	
	pannello cartongesso				0,012			1823,7	21,8844	
	PARETE NUCLEO	parete calcestruzzo armato				0,3	123,7	1	1823,7	631,11
						0,3	99,5	8		
						0,3	96,8	5		
						0,5	420	1		
						0,012				1823,7
		pannello cartongesso				0,05			1823,7	91,185



PARETE NUCLEO

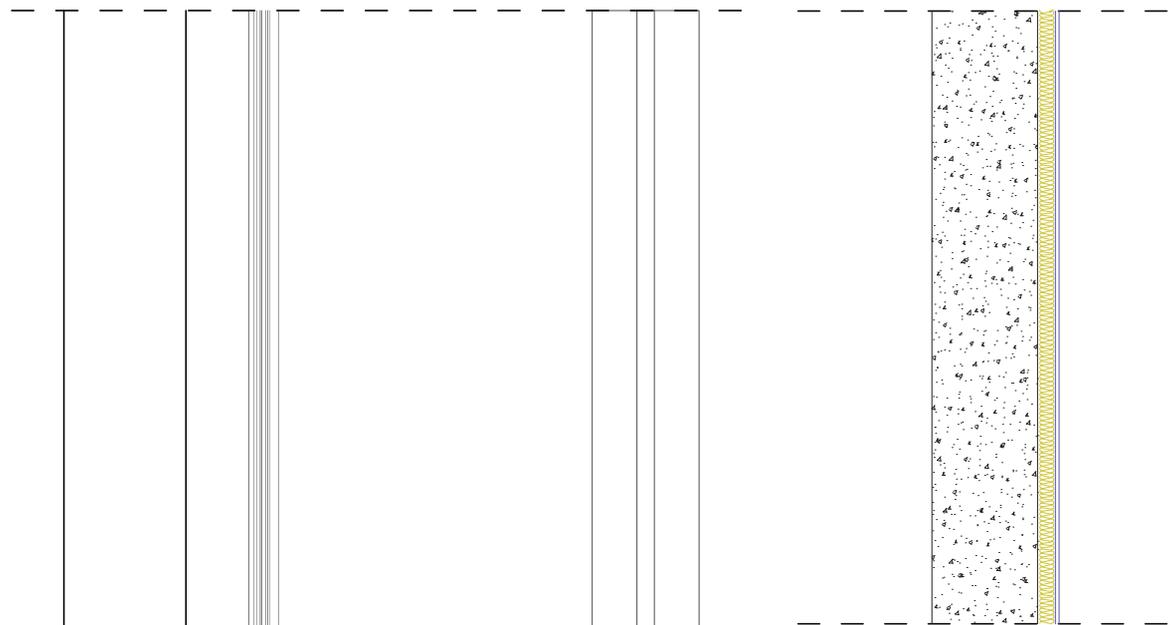
CATEGORIA		MATERIALI	lung. (m)	Area (m2)	Volume (m3)
C . V E R T	VETRATA	pilastro in acciaio HEA 500			2,
		serramento in alluminio		2062,62	165,0
		frangisole microforato in alluminio *		1181,52	59,
		passerella in acciaio per manutenzione *		479,7	71,
		profilo verticale in alluminio *	552	0,09	49
	PARETE CIECA	parete calcestruzzo armato		2130	975
		isolante EPS con grafite		2130	44,
		pannello cartongesso		2130	10,7
C . O R I Z	TETTO	zavorra in ghiaia		394	47
		membrana bituminosa impermeabilizzante		394	1,
		isolante in poliuretano espanso		394	1
		membrana al vapore		394	1,
		cls alleggerito di pendenza con polistirolo espanso		394	31
		getto cls armato con rete elettrosaldata		394	47
		lamiera grecata autoportante h:7cm		394	7
		trave secondaria in acciaio HEA 280			0,5135
		trave primaria in acciaio HEA 280			1,1904
	S.TERRA	pavimento piastrelle ceramica		1030	12
		massetto di allettamento alleggerito		1030	5
		barriera al vapore		1030	3
		isolante XPS estruso		1030	18
		massetto di allettamento alleggerito		1030	8
		getto cls armato con rete elettrosaldata		1030	12
vespaio areato a igloo			1030	28	
magrone			1030		
P . V	PARETE NUCLEO	isolante EPS con grafite		1823,7	91,
		pannello cartongesso		1823,7	21,8
		parete calcestruzzo armato		1823,7	631
		isolante EPS con grafite		1823,7	21,8
		pannello cartongesso		1823,7	91,
P . O R I Z	S. ACCIAIO	pavimento flottante in acciaio zincato *		4621	55,
		massetto di allettamento alleggerito		4621	231
		isolante anticalpestio EPS con grafite		4621	184
		strato di cls armato con rete elettrosaldata		4621	92
		lamiera grecata autoportante h:7cm		4621	92
		trave secondaria in acciaio HEA 280			7,012
		trave primaria HEA in acciaio 500			9,
		trave primaria HEA in acciaio 280			3,79
	S. CLS	pavimento piastrelle ceramica		605	7
		massetto di allettamento alleggerito		605	54
		isolante termico lana di roccia		605	30
		getto cls armato con rete elettrosaldata		605	18
		pannello cartongesso		605	7

m3)	Kg/m	Kg/m2	Kg/m3	peso unitario (KgCO2eq/Kg)	Emissioni materiale	Emissioni elemento	Emissioni parti
923			7800	1,12	25535,328	282622,0047	705098,3835
096	9,17			3,62	68469,49595		
076	14	2800		10,46	173021,7888		
955	28	7800		1,12	15043,392		
0,68	1	14	2800	10,46	552	422476,3788	
6,09			2500	0,17	414413,25		
955			25	5,36	6023,97		
892			900	0,21	2039,1588		
7,28			1500	0,00295	209,214	82541,02407	268609,1851
182	4			2	3152		
9,7		40		3,74	2947,12		
182	1,4			4,3	2371,88		
5,52		1000		0,8389	26442,128		
7,28		2500		0,17	20094		
7,88	11			2,87	12438,58		
328		7800		1,12	4486,222541		
624		7800		1,12	10399,87953		
2,36	24			0,69	17056,8		
1,5		600		0,8389	25922,01		
8,09	1,4			4,3	6200,6		
5,4		35		3,01	19531,89		
2,4		600		0,8389	41475,216		
3,6		2500		0,17	52530		
8,4	5,2			1,94	10390,64		
103		150		0,8389	12961,005		
185		25		5,36	12218,79	304743,1662	304743,1662
844		900		0,21	4136,1516		
1,11		2500		0,17	268221,75		
844		25		5,36	2932,5096		
185		900		0,21	17233,965		
452	50			2,87	663113,5	1515922,752	1633237,455
0,05		600		0,8389	116296,707		
1,84		25		5,36	24768,56		
24,2		2500		0,17	392785		
2,42	11			2,87	145884,97		
446		7800		1,12	61260,72826		
006		7800		1,12	78676,416		
314		7800		1,12	33136,87104		
7,26	24			0,69	10018,8	117314,703	
4,45		600		0,8389	27406,863		
0,25		30		1,52	1379,4		
1,5		2500		0,17	77137,5		
7,26		900		0,21	1372,14		

* valore KgCO2eq/Kg dato dal materiale

CHIUSURA VERTICALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	n. piani	Lungh. (m)	Area (m2)	Volume (m3)		
C H I U S U R A V E R T I C A L E	VETRATA	pilastro GLULAM	8	5			1	0,13135	38,8796		
			8	4			8				
		serramento in legno	2	30	4	0,08	2			2.062,62	165,0096
			2	11,6	1,8		1				
			2	30	4		1				
			2	27	4		4				
			2	24,27	4		1				
			2	24,27	5		1				
	frangisole microforato in legno	2	3,5	3,6	0,05	7	1.181,52	59,076			
		2	3,8	3,6		7					
		2	3,4	3,6		7					
		4	4,3	3,6		2					
		8	3	3,6		6					
		2	21,3	1		1					
	passerella in legno per manutenzione	1	21,3	1	0,25	1	479,70	119,925			
		1	24,3	1		1					
		2	34,4	1		6					
		4	27								
profilo verticale in legno	2	28				552	49,68				
	2	42									
PARETE CIECA	parete calcestruzzo armato	1	24,3	37	0,4	2130	975,09				
		1	47,8	10,5	0,5						
		1	24,3	30	0,5						
	isolante EPS con grafite	1	24,3	37	0,05	2130	44,955				
		1	47,8	10,5							
		1	24,3	30							
	pannello finitura	1	24,3	37	0,012	2130	10,7892				
		1	47,8	10,5							
		1	24,3	30							

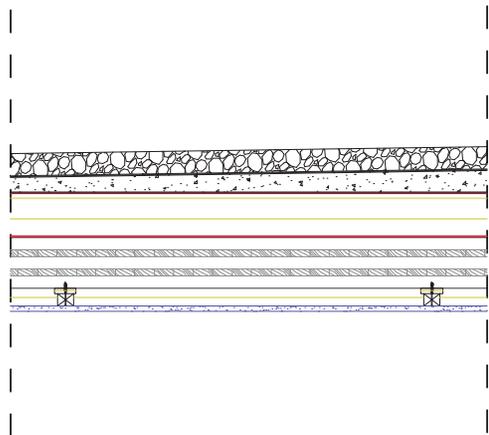


PARETE VETRATA

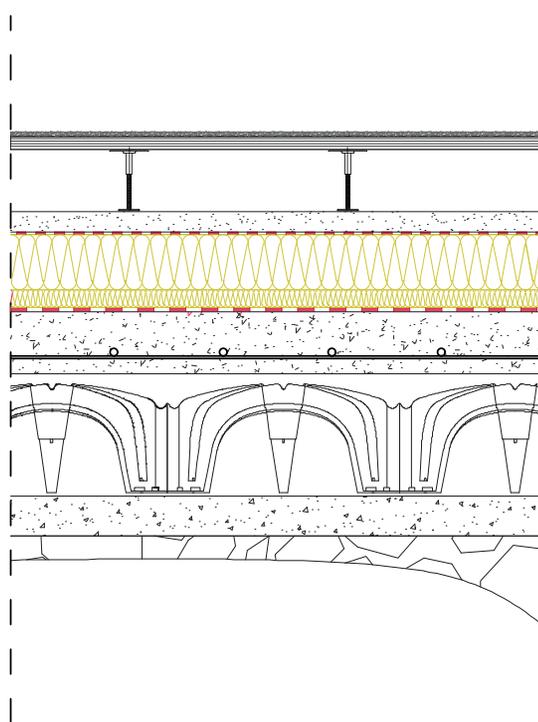
PARETE CIECA (MEDIANERAS)

CHIUSURA ORIZZONTALE

CATEGORIA	MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	n. piani	Area (m2)	Volume (m3)	
C H I U S - O R I Z Z O N T A L E	TETTO	zavorra in ghiaia				0,12	394	47,28	
		membrana bituminosa impermeabilizzante				0,003	394	1,182	
		cls alleggerito di pendenza con polistirolo espanso				0,08	394	31,52	
		isolante poliuretano espanso				0,05	394	19,7	
		membrana al vapore				0,003	394	1,182	
		Pannello CLT 7 strati		0,9	2	0,245	394	96,53	
		trave secondaria GLULAM	2	17,7				0,09	4,752
			2	8,7					
		trave primaria GLULAM	4	10				0,12	14,688
			4	7,6					
		2	26						
	S.TERRA	pavimento legno					0,014	1030	14,42
		massetto di allettamento alleggerito					0,05	1030	51,5
		membrana al vapore					0,003	1030	3,09
isolante XPS estruso						0,18	1030	185,4	
massetto di allettamento alleggerito						0,08	1030	82,4	
getto cls armato con rete elettrosaldata						0,12	1030	123,6	
vespaio areato a igloo							1030		
magrone						0,1	1030	103	



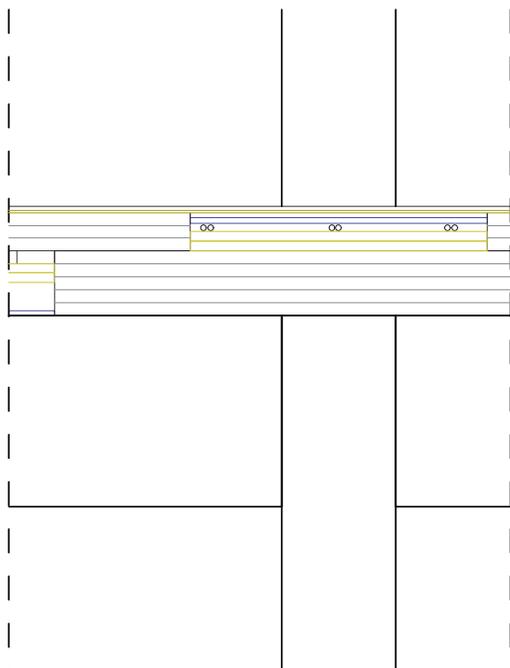
SOLAIO TETTO



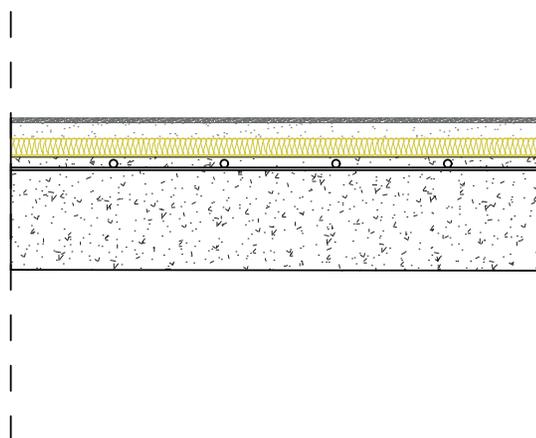
SOLAIO CONTROTERRA

PARTIZIONE ORIZZONTALE

CATEGORIA		MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	Area x piano	n. piani	Area TOT (m2)	Volume (m3)		
P A R T I Z I O R I Z Z O N T A L E	S. CLT	pavimento legno				0,014	480	1	4621	64,694		
							362	1				
							355	3				
							536	4				
							570	1				
			isolante anticalpestio EPS con grafite					0,04			4621	184,84
			CLT 3 strati		120	1,5	2	0,105	360	1	1727,25	181,36125
					91				1			
					89				3			
					134				4			
					143				1			
			isolante anticalpestio EPS con grafite					0,04			4621	184,84
			CLT 5 strati		133	0,9	2	0,175	240	1	1151,5	201,5125
					101				1			
		99		3								
		149		4								
		158		1								
	trave secondaria GLULAM		9	24					0,09	64,89		
			5	5								
			20	24								
	trave primaria GLULAM		12	8					0,12	54,72		
			20	8								
			20	10								
	S. CLS	pavimento legno				0,014	222	1	605	8,47		
							383	1				
		massetto di allettamento alleggerito					0,09			605	54,45	
		isolante termico lana di roccia					0,05			605	30,25	
		getto cls armato con rete elettrosaldata					0,3			605	181,5	
		pannello finitura				0,012			605	7,26		



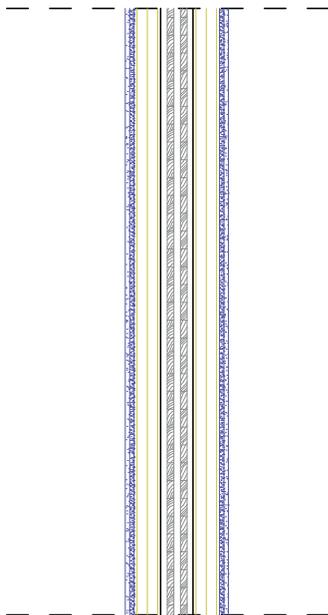
SOLAIO INTERMEDIO



SOLAIO CLS

PARTIZIONE VERTICALE

CATEGORIA		MATERIALI	n. elementi	lunghezza (m)	larghezza (m)	spessore(m)	Area x piano	n. piani	Area TOT (m2)	Volume (m3)	
P A R T · V E R T	PARETE NUCLEO	isolante EPS con grafite				0,05			1823,7	91,185	
		pannello finitura				0,012			1823,7	21,8844	
		parete CLT					0,245	123,7	1	1823,7	446,8065
								99,5	8		
								96,8	5		
								420	1		
		isolante EPS con grafite				0,05			1823,7	91,185	
pannello finitura				0,012			1823,7	21,8844			



PARETE NUCLEO

ALLEGATI

CATEGORIA		MATERIALI	lung. (m)	Area (m2)	Volume (m3)	Kg/m	Kg/m2
C · V ·	VETRATA	pilastro GLULAM		0,13135	38,8796		
		serramento in legno		2.062,62	165,01		
		frangisole microforato in legno		1.181,52	59,08		
		passerella in legno per manutenzione		479,7	119,925		
		profilo verticale in legno	552	0	49,68		
	PARETE CIECA	parete calcestruzzo armato		2130	975,09		
		isolante EPS con grafite		2130	44,955		
		pannello finitura		2130	10,7892		
C · O ·	TETTO	zavorra in ghiaia		394	47,28		
		membrana bituminosa impermeabilizzante		394	1,182	4	
		cls alleggerito di pendenza con polistirolo espanso		394	31,52		
		isolante poliuretano espanso		394	19,7		
		membrana al vapore		394	1,182	1,4	
		Pannello CLT 7 strati		394	96,53		
		trave secondaria GLULAM		0,09	4,752		
		trave primaria GLULAM		0,12	14,688		
	S.TERRA	pavimento legno		1030	12,36		
		massetto di allettamento alleggerito		1030	51,5		
		barriera al vapore		1030	3,09	1,4	
		isolante XPS estruso		1030	185,4		
		massetto di allettamento alleggerito		1030	82,4		
		getto cls armato con rete elettrosaldata		1030	123,6		
vespaio areato a igloo			1030		5,2		
magrone			1030	103			
P · V ·	PARETE NUCLEO	isolante EPS con grafite		1823,7	91,185		
		pannello finitura		1823,7	21,8844		
		parete CLT		1823,7	446,8065		
		isolante EPS con grafite		1823,7	91,185		
		pannello finitura		1823,7	21,8844		
P · O ·	S. CLT	pavimento legno		4621	64,694		
		isolante anticalpestio EPS con grafite		4621	184,84		
		CLT 3 strati		1727,25	181,36125		
		isolante anticalpestio EPS con grafite		4621	184,84		
		CLT 5 strati		1151,5	201,5125		
		trave secondaria GLULAM		0,09	64,89		
		trave primaria GLULAM		0,12	54,72		
	S. CLS	pavimento legno		605	7,26		
		massetto di allettamento alleggerito		605	54,45		
		isolante termico lana di roccia		605	30,25		
		getto cls armato con rete elettrosaldata		605	181,5		
		pannello finitura		605	7,26		

kg/m3	peso unitario (KgCO2eq/Kg)	peso unitario (KgCO2eq/m3)	Emissioni materiale	Emissioni elemento	Emissioni parti
	-1,22	-610	-23716,556	-99157,22864	314277,8006
	1,46	474,1	78231,05136		
	-1,35	-649	-38340,324		
	-1,49	-680	-81549		
	-1,49	-680	-33782,4		
2500	0,17		414413,25	413435,0292	
25	5,36		6023,97		
	-1,35	-649	-7002,1908		
1500	0,00295		209,214	-40831,978	121566,783
	2		3152		
1000	0,8389		26442,128		
40	3,74		2947,12		
	4,3		2371,88		
	-1,41	-664	-64095,92		
	-1,22	-610	-2898,72		
	-1,22	-610	-8959,68	162398,761	
600	-0,95	-535	-6612,6		
	0,8389		25922,01		
	4,3		6200,6		
35	3,01		19531,89		
600	0,8389		41475,216		
2500	0,17		52530		
	1,94		10390,64	-300647,8872	-300647,8872
150	0,8389		12961,005		
25	5,36		12218,79		
	-1,35	-649	-14202,9756		
	-1,41	-664	-296679,516		
25	5,36		12218,79	-312264,44	-214936,517
	-1,35	-649	-14202,9756		
	-0,95	-535	-34611,29		
25	5,36		24768,56		
	-1,41	-664	-120423,87		
25	5,36		24768,56		
	-1,41	-664	-133804,3		
	-1,22	-610	-39582,9	97327,923	
	-1,22	-610	-33379,2		
600	-0,95	-535	-3884,1		
30	0,8389		27406,863		
2500	1,52		1379,4		
	0,17		77137,5	-4711,74	
	-1,35	-649	-4711,74		

* valore KgCO2eq/Kg dato dal materiale

***BIBLIOGRAFIA E
SITOGRAFIA***

Bibliografía:

- Ansalone Marco, La casa albero, Caso studio master 2018
- Assenza Farina Sciortino, Wood Innovation and Design Center, Caso studio master 2018
- Calthorpe Analytics, The Ultimate Technical Guide to UrbanFootprint, Calthorpe Analytics, 2017
- Cándida Gago García, Jerarquía urbana en America Latina, DIALNET, 2002
- CAT, scaling up climate action key opportunities for transitioning to a zero emissions society, Climate action tracker, 2019 in https://climateactiontracker.org/documents/540/CAT_2019-09-05_ScalingUp_ARGENTINA_FullReport_ENG.pdf
- Chicago Climate Task Force, Chicago Climate Action Plan, Our city our future
- Dirección General Estadística y Censo (Ministero de Economía y Finanzas GCBA), Metros cuadros construidos en Buenos Aires Argentina, 2019
- Emilio Pradilla Cobos, Presente y futuro de las metrópolis de america latina, DIALNET, Bogotá 2008
- Federico Pavia, gli edifici multipiano in legno e l'impatto ambientale, Politecnico di Torino
- Francesco Pittau, Carbon efficient constructions, life cycle-based method for the evaluation of the carbon footprint of wood buildings, Dottorato di ricerca in ingegneria dei sistemi edilizi, politecnico di Milano, 2013
- Francesco Pittau, Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei sistemi edilizi, Carbon efficient constructions, Politecnico di Milano
- Galina Churkina, Alan Organschi, Christopher P.O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T.E.Graedel, Hans Joachim Schellnhuber, buildings as a global carbon sink, Nature sustainability, 2019
- Gobierno Argentino Buenos Aires, La historia de la configuración territorial, in http://www.ssplan.buenosaires.gov.ar/MODELO%20TERRITORIAL/1.%20Ciudad%20Producida/1_ciudad_producida.pdf
- Héctor Ignacio Mertínez Alvare, La reestructuración urbana en America Latina, las ciudades latinos americanas y el capitalismo dependiente, DIALNET, 2017
- IPCC, Climate Change, Synthesis Report, 2014
- ISTAT, Permessi di Costruire 2014-2015, 2015
- ISTAT, Permessi di Costruire 2015-2016, 2016
- ISTAT, Permessi di Costruire 2017-2018, 2018
- ISTAT, Permessi di Costruire 2018-2019, 2019
- Jairo Libreros, Megalopolis en America Latina, DIALNET
- Jorge Olcina Cantos, Megaciudades: espacios de relación, contradicción, conflicto y riesgo, DIALNET, Universidad de Alicante
- Josè Marcos P. Da Cunha, Crecimiento urbano y movilidad en America Latina, DIALNET, Universidade Estadual de Campinas, 2014

- Juan osè Soto- Cortès, El crecimiento urbano de las ciudades enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable, DIALNET, 2015
- Michael Dickson, Dave Parker, Sustainable Timber Design, Routledge Taylor & Francis Group, 2015
- Min Seop Seo, Taeyeon Kim, Goopyo Hong, Hyungkeun Kim, On-Site Measurements of CO2 emissions during the construction phase of a building complex, Enrico Sciubba, 2016
- Nicola Ordonselli, LCA Life Cycle Assessment comparativa tra tre sistemi costruttivi: legno Xlam, acciaio e C.A., Politecnico di Torino
- Nicola Tognoni, Andrea Valenti, Francesco Vaninetti; Il porto di buenos Aires, riqualificazione urbana del settore “puerto nuevo-retiro”, Tesi di laurea magistrale, politecnico di milano, 2013
- Rodrigo Martinez Ruiz, resilient Buenos Aires, The resilient Buenos Aires team, Buenos Aires Ciudad, 2018, in <https://www.buenosaires.gob.ar/jefedego-bierno/secretariageneral/buenos-aires-ciudad-resiliente>
- Rune B. Abranhamsen, Kjell Arne Malo, Structural design and assembly of “treet” a 14-storey timber residential building in Norway, WCTE, 2014
- Santamaria Zappia, T3 Minneapolis Office Building, Caso studio master 2018
- Sidewalk Labs, Toronto Tomorrow, 2019
- Structurlam, Carbon 12, case study, 2020
- T.F.Keenan, C.A.Willimas, The terrestrial carbon sink, Annul Review of Environment and Resources
- The city of New York Mayor Bill de Blasio, PlaNYC Progress report, 2014
- The Economist, Seize the moment, 23/05/2020
- Theodore L. Senet, New California Sustainability Laws, The public Law Journal, 2015
- Universidad autónoma del estado de Morelos, Ciudades latinoamericanas, Análisis urbanístico de la ciudad de Buenos Aires Argentina, Facultad de arquitectura sede universitaria de la Cuenca, 2014
- US Environmental Protection Agency, Climate Leadership, EPA 2013
- Vicent Stops, Hackney: Timber First, WoodWorks, 2014
- Waught Thistleton Architects, 100 Project UK CLT, Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment, 2018

Seminari:

- Benedetta di Donato, Aurora Cavallo, Davide Marino, L'evoluzione delle relazioni città campagna, XXXV conferenza Italiana di scienze regionali, 2015
- Francesco Negro, stoccaggio di anidride carbonica nel legno e nei prodotti derivanti, una questione di alberi, DISIFA, seminario 21 maggio 2020
- Guido Callegari, Architecture's role in climate change, Forum Legno Edilizia, 2020
- Guido Callegari, Riqualficazione del patrimonio edilizio in ambito europeo: strategie e processi di innovazione tecnologica, Edilportale, 2018
- Rune B Abrahamsen, Kjell Arne Malo, structural design and assembly of "Treet" a 14-storey timber residential building in Norway, WCTE, 2014

Sitografia:

- <https://grafici.altervista.org/emissioni-di-co2-pro-capite-e-totali-in-italia-e-altri-paesi/>
- <https://tyrasd.github.io/osm-node-density/#2/55.0/-42.5/latest,places>
- <https://urbanage.lsecities.net/data>
- <https://www.costantinilegno.it/legno/nuovo-record-per-il-legno-grattacielo-di-18-piani-in-canada/#gref>
- <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica>
- <https://www.infobae.com/tendencias/ecologia-y-medio-ambiente/2019/07/21/contaminacion-del-aire-uno-de-los-principales-protagonistas-de-la-crisis-climatica/>
- <https://www.infobuild.it/2018/10/stoccolma-nuovo-quartiere-sostenibile-grattacielo-legno/>
- <https://www.marlegno.it/blog/case-in-legno/carbon-footprint-ed-embodied-energy-limpatto-ambientale-delle-case-legno>
- <https://www.planning.org.au/internationalcontent/article-pages/urban-growth-trends-in-buenos-aires-and-sydney>
- <https://www.promolegno.com/costruire-con-il-legno/sostenibilita-e-ambiente/clima-e-co2-1>
- https://www.reteclima.it/cause-e-conseguenze-dei-cambiamenti-climatici/#:~:text=Le%20cause%20dei%20cambiamenti%20climatici,*%20l'allevamento%20del%20bestiame.
- <https://www.reteclima.it/il-cambiamento-climatico/>
- <https://www.sidewalktoronto.ca/>
- <https://www.startmag.it/smartcity/perche-sidewalk-labs-alphabet-ha-abbandonato-il-quartiere-smart-di-toronto/>
- <https://www.teknoring.com/news/green-building/edifici-multipiano-in-legno-il-wood-innovation-design-centre/>
- <https://www.wooddays.eu/it/wood-and-climate/index.html>

RINGRAZIAMENTI:

Quando si conclude un percorso come quello che ho intrapreso i grazie da dire sono veramente tanti, ogni singola persona incrociata nel mio lungo vagare è parte di questo grande successo che finalmente ho raggiunto.

Grazie innanzitutto alla mia famiglia per avermi permesso di realizzare i miei sogni. Alla mia mamma che mi ha insegnato a stringere i denti quando ce n'era più bisogno, a mio babbo che mi ha insegnato l'importanza del lavorare sodo, a Pietro che mi ha fatto capire che nella vita "se uno vuole può far tutto" e a Tommi che non mi ha mai permesso, nonostante i numerosi spostamenti, di allontanarmi da casa.

Grazie alla mia nonna, sempre presente in qualsiasi momento per avermi "costretta" ad essere tenace.

Grazie ai miei professori Bonvecchi, Callegari e Carbonaro per l'aiuto e la comprensione.

Grazie alla Jean alla Meggie ad Osso e alla Marta perché mi hanno insegnato che l'amicizia non si ferma con le distanze.

Grazie alla mia compagna di viaggio, incontrata la prima settimana di università e mai più abbandonata, grazie Gio per le nostre risate, le nostre sclerate, grazie per la nostra amicizia.

Ai miei amici di Torino, a Karen e Diego grazie per avermi fatta innamorare inconsciamente del Sud America e ad Ale per la tua infinita disponibilità e ospitalità che mi ha fatto sentire sempre a casa.

Grazie alla Sere, perché senza di lei ogni decisione sarebbe stata ancora più difficile e sofferta.

Grazie a Simona per i nostri viaggi ed avermi sopportata nelle nostre mille avventure e disavventure.

Gracias a Sofi, Anto, Andre, Nico y Cata, tampoco sé cómo describir el amor y gratitud que siento por ustedes, fueron una segunda familia para mí.

E a Franci ed Albi, i miei complici, i miei fratellini. L'Argentina avrebbe avuto un sapore completamente diverso senza di voi. Grazie per la vostra pazienza, per la vostra comprensione, per il vostro amore grazie per essere state le persone perfette per questi anni di crescita.

Infine un grazie va alle numerose città che mi hanno accolto, a Cesena per avermi insegnato la pazienza, a Venezia per avermi insegnato l'indipendenza, a Torino per avermi colmata di curiosità per il mondo e a Buenos Aires che mi ha mostrato cos'è la libertà.

Corso di Laurea Magistrale in
ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

Politecnico di Torino
Universidad de Belgrano