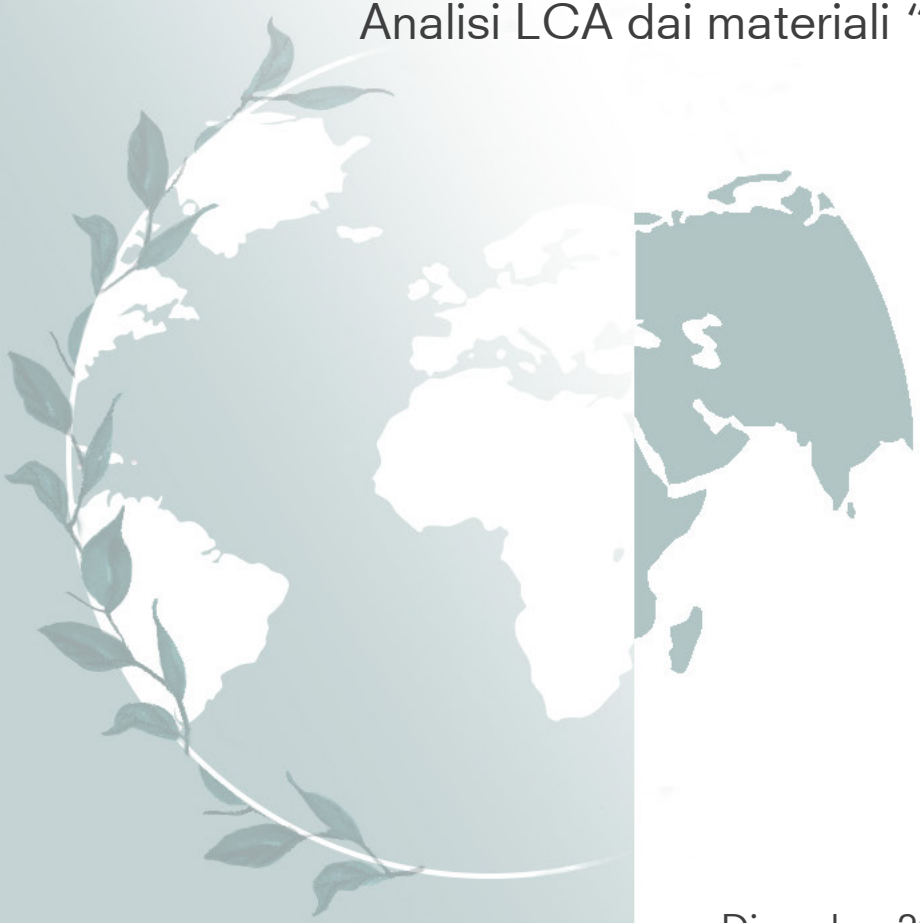
POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

# Life Cycle Assessment e l'impatto ambientale in edilizia: Analisi LCA dai materiali "Green" all'edificio



Tesi di laurea di:
Federica Bavetta
Alessandra Tomassini

Relatore:
Guido Callegari

Correlatori:
Corrado Carbonaro
Francesca Thiebat

Dicembre 2018

INTRODUZIONE

1. SOSTENIBILITA' E INNOVAZIONE

18 1.1 La questione ambientale
21 1.2 L'impatto dell'edilizia sull'ambiente
24 1.3 Perseguire le sostenibilità grazie all'innovazione nel settore delle costruzioni

2. LO SVILUPPO DI NUOVI SISTEMI VERSO UN'OTTICA PIU'SOSTENIBILE: IL SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO

30 2.1 La tecnologia del sistema
31 2.2 I caratteri distintivi della tecnologia a secco
33 2.3 La filiera del legno nelle costruzioni a secco

3. NUOVI MATERIALI ECO-EFFICIENTI

38 3.1 Il concetto di eco-efficienza
41 3.2 Lo sviluppo di nuovi prodotti: i materiali di origine naturale
44 3.2.1 La canapa
44 3.2.1.1 Il Biomattone
47 3.2.2 L'argilla
49 3.2.3 Il sughero
51 3.2.4 La lana di pecora
51 3.2.5 La paglia

4. METODI E STRUMENTI PER IL CONTROLLODELL'ECO-EFFICIENZA

56 4.1 I metodi multicriterio
59 4.2 I metodi di valutazione sintetici: Life Cycle Assessment (LCA)
61 4.3 La teoria dell'analisi LCA
74 4.4 Gli strumenti di certificazione ambientale dei prodotti: Etichettatura I,II,III; EPD

5. I CASI STUDIO SOGGETTI ALLA SPERIMENTAZIONE

80 5.1 Il modulo di Cambiano
90 5.2 Il modulo PVZEN
94 5.3 Il modulo MAACC

## 6. LA SELEZIONE DI AZIENDE ITALIANE DI PRODOTTO “GREEN” E I LORO MATERIALI


104 6.1 Abitare Legno e la Fibra di legno
105 6.2 Tecnosugheri s.r.l. e il Sughero bruno
107 6.3 Ton Gruppe e i Blocchi in Terra Cruda Kryoton
110 6.4 Equilibrium e il Biomattone
112 6.5 CMF Greentech e i materiali in Canapa


## 7. STUDIO LCA: DAI MATERIALI ALL’EDIFICIO. IL CASO STUDIO MAAC


120 7.1 L’analisi LCA dei singoli materiali oggetto di studio
124 7.2 L’analisi LCA degli elementi tecnici d’involucro edilizio
125 7.2.1 Elemento tecnico con struttura portante a telaio e isolante in fibra di legno
130 7.2.2 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, isolante in fibra di legno e sughero
135 7.2.2 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, isolante in canapa e argilla
140 7.2.3 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, blocchi Kryoton e isolante in canapa
145 7.2.4 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, blocchi in Biomattone e isolante in sughero
150 7.2.5 Elemento tecnico con struttura portante in calcestruzzo armato, blocchi Poroton e isolante in lana di roccia (Benchmark)
156 7.2.6 Elemento tecnico con struttura portante a telaio e isolante in lana di pecora e sughero
161 7.2.7 Elemento tecnico con pannelli di compensato e lana di pecora
166 7.2.8 Elemento tecnico con blocchi in Biomattone e pavimento in gomma riciclata
171 7.3 Le unità tecnologiche del modulo MAACC
172 7.4 L’analisi LCA a scala dell’edificio

CONCLUSIONE

APPENDICE CON SCHEDE TECNICHE

BIBLIOGRAFIA

SITOGRAFIA

# INTRODUZIONE

Un attento sguardo al mercato edilizio degli ultimi anni, fa emergere una forte crisi strettamente legata alla riduzione della domanda, sia sul versante pubblico che su quello privato, che ha causato rilevanti danni all'attività delle singole imprese e di conseguenza anche all'occupazione. Tuttavia, una ricerca più approfondita, ha fatto emergere che, in un periodo così instabile e pieno di incertezze, in contro corrente alla crisi, si inizia ad aprire uno spiraglio del mercato edilizio che è stato fortemente accettato e sta riscuotendo sempre più successo: il mercato delle costruzioni in legno[1]. L'utilizzo di questi sistemi sta prendendo sempre più piede anche nel nostro paese, confermandosi al quarto posto in Europa per la produzione di edifici prefabbricati in legno[2]. Mettendo da parte i pregiudizi e le ideologie del passato, in cui era radicata l'idea che la casa in legno coincidesse con una baita di montagna o una costruzione in serie (per la sua natura prefabbricata), oggi costruire in legno, viene vista come una soluzione innovativa, atta a risolvere le problematiche del contesto urbano.

Costruire in legno permette la realizzazione di edifici e strutture anche multipiano[3], in quanto risulta essere una tecnologia avanzata e veloce da realizzare, sicura, flessibile, di ottima qualità e con costi competitivi.  Complice del suo sviluppo è anche l'emergenza ecologica legata al tema del surriscaldamento globale e la necessità di sostituire l'energia fossile con fonti rinnovabili[4]. L'Italia, come altri paesi, ha ritenuto che l'utilizzo del legno come materiale da costruzione potesse rappresentare una valida risposta in merito alle problematiche ambientali, in quanto, quest'ultimo risulta essere un materiale ampiamente diffuso in natura, interamente rinnovabile[5] e con numerose potenzialità. Una di queste è la capacità di assorbire $CO_2$ limitando il fenomeno dell'effetto serra che, soprattutto nel contesto urbano, provoca un aumento della temperatura molto al di sopra delle soglie limite stabilite. Inoltre, rispetto ad altri materiali edili come acciaio e alluminio, la filiera del legno risulta meno energivora poiché il quantitativo di energia primaria utilizzato durante il processo di fabbricazione è

1 Il mercato dell' edilizia in legno risulta crescere del 10% in più ogni anno.
2 Il sole 24Ore. (www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2017-07-11/l-edilizia-legno-italia-raggiunge-quota-700-milioni-143305.shtml?uuid=AEFYeTvB)
3 Si tratta di edifici multipiano in ambito residenziale, commerciale, industriale, sanitario, alberghiero o pubblico come, per esempio, l'edilizia scolastica
4 promo_legno
5 Il legno è un materiale rinnovabile laddove vengano attuate le necessarie pratiche colturali previste da appositi piani di gestione forestale: A tal proposito, un'oculata programmazione di taglio e piantumazione non solo non arreca danni ambientali, ma contribuisce al continuo rinnovamento del parco boschivo esistente e fornisce allo stesso tempo del legno da impiegare in edilizia (il legname viene sottoposto a segagione prima dell'invecchiamento e sono proprio le piante giovani quelle in grado di trasformare più anidride carbonica in ossigeno).

notevolmente ridotto. In più, gli scarti di lavorazione possono essere recuperati ed impiegati in altri processi per la produzione di energia termica. Se si considerano anche la possibilità di riciclo e riuso del materiale alla fine del suo ciclo di vita, il legno può essere considerato praticamente "Carbon neutral" poiché non provoca l'aumento del rilascio di $CO_2$ in atmosfera.
Nuovi sistemi costruttivi che utilizzano il legno come materia prima prendono sempre più piede all'interno del mercato edilizio, e vengono suddivisi in due principali macro categorie: il sistema costruttivo X-Lam (o Cross Laminated Timber) e il sistema a telaio.
Il primo, può essere utilizzato per realizzare edifici di varie dimensione (da piccoli edifici a grandi fabbricati multipiano), in quanto, il sistema costruttivo X-Lam è caratterizzato dall'impiego di pannelli in legno massello disposti in più strati[6], sovrapposti ed incollati tra di loro, con la fibratura di ogni strato ruotata ortogonalmente rispetto alla precedente. Il prodotto finito, come tipico dei sistemi di costruzione a secco, arriva in cantiere pronto per l'assemblaggio, già intagliato e sagomato per l'allocazione di porte e finestre. I pannelli, per esigenze di trasporto, sono caratterizzati da moduli che non superano i tre metri di lunghezza, e che successivamente verranno assemblati grazie a giunti verticali. Questi ultimi, rendono la parete duttile, conferendogli una migliore reazione smorzante in caso di sollecitazioni sismiche. Successivamente, le pareti costituite dai moduli, vengono fissate tra loro tramite viti. Una volta terminata questa operazione, si procede alla posa del solaio, e si ripetono i precedenti passaggi per quanti sono i piani che si vogliono realizzare.
La seconda tipologia costruttiva, invece, è rappresentata dal sistema a telaio. Questa si differenzia dalla tecnologia in X-Lam, per la presenza di elementi bidimensionali come travi e pilastri, che possono essere realizzati in officina e posti direttamente in opera abbattendo i costi di montaggio. In questo caso, la modalità di realizzazione della struttura prevede la sovrapposizione di più piani, in cui quello superiore si appoggia al sottostante poiché i montanti del sistema non sono pezzi unici, ma si dividono in corrispondenza dei solai di ogni piano. Inoltre, gli elementi portanti, sono un tutt'uno con quelli di irrigidimento e tamponamento concorrendo a formare, alla fine, un sistema unitario costituito da lastre rivestite di pannelli. Tutti gli elementi del telaio, sezioni e materiali di rivestimento, sono standardizzati e fra loro collegati con elementi di giunzione meccanici.
Sia la tecnologia costruttiva in X-Lam che quello a telaio in legno si presentano come sistemi ad alte prestazioni, frutto dell'innovazione tecnologica, la quale, nel corso degli ultimi anni, si è attivata per trovare strategie e soluzioni sempre più efficaci in risposta ai problemi sociali e ambientali.

In merito a queste tematiche, una forte critica è stata indirizzata verso il modello di sviluppo della

6 Il numero di strati di legno è dispari e generalmente varia da un minimo di 3 ad un massimo di 7



società contemporanea, che prevede lo sfruttamento di grandi quantità di risorse e la non curanza dei gravi impatti causati dalle attività antropiche sull' ambiente. Dunque, per perseguire qualità di vita migliori, è necessario prefiggersi un nuovo obiettivo che punta ad un modello di sviluppo alternativo, incentrato sull' uso sostenibile delle risorse e la riduzione degli impatti ambientali e sociali. Il campo dell'innovazione può essere una strada da percorrere, poiché permette di implementare tecnologie che consentono di utilizzare le risorse ambientali, in maniera più consapevole e di ottenere, come conseguenza, un uso più responsabile dei beni naturali, garantendo un inquinamento ridotto e maggiori risparmi in termini di consumi.
Poiché il settore edilizio è ritenuto uno dei principali responsabili della crisi ambientale sia per la grande quantità di energia utilizzata durante la fase di costruzione ed in fase d'uso dell'edificio, sia per l'impiego di materiali non rinnovabili e le emissioni di gas serra prodotte duranti i processi produttivi, l'innovazione tecnologia ha trovato nel settore delle costruzioni un ampio campo in cui agire. Lo sviluppo dei sistemi a secco, come quello in X-Lam e a telaio, sono il risultato di un nuovo paradigma costruttivo volto alla sostenibilità edilizia. Nonostante la strada da percorrere per raggiungere risultati soddisfacenti sia ancora lunga, nell' ambito delle costruzioni sono già stati fatti grandi passi in avanti.
Considerando i due sistemi tecnologici previamente citati, infatti, i vantaggi che si ottengono sono molteplici e non soltanto per la natura della materia prima utilizzata, per i motivi precedentemente descritti, ma anche sul fronte del risparmio energetico. Il legno, infatti, essendo un eccellente isolante termico e acustico, garantisce ottimi livelli di comfort interno dei locali, riducendo l'utilizzo di impianti da parte della committenza e, dunque, dei consumi energetici. Inoltre l'utilizzo di materiali naturali a base legno, o suoi derivati, per l'isolamento, migliora la traspirabilità e di conseguenza, la qualità dell'aria indoor.
All'interno del panorama italiano si nota come queste nuove tecnologie si stanno sempre più sviluppando, tanto che, studi approfonditi hanno dimostrato che tra le due macro aree, il sistema a telaio è utilizzato per il 55%, mentre quello in X-Lam solo per il 38%[7]. Le principali differenze tra i due sistemi sono: la maggiore rigidezza strutturale e la conseguente libertà progettuale del sistema in X-Lam; l'elevata duttilità e costi più contenuti, del sistema a telaio, in ragione del fatto che si utilizza meno materiale e meno collanti. Inoltre si ritiene che il sistema a telaio provochi meno impatti verso l'ambiente, e dunque il processo produttivo è meno energivoro rispetto al sistema in X-Lam. Tuttavia, l'elemento che più di tutti influisce sulla scelta di utilizzare un sistema rispetto all'altro, riguarda l'isolamento: i pannelli in X-Lam possiedono una grande inerzia grazie alla maggiore massa lignea,

7 https://www.edilportale.com/news/2016/09/focus/costruzioni-in-legno-caratteristiche-e-vantaggi_53783_67.html

garantendo prestazioni maggiori durante la stagione estiva; il sistema a telaio, invece, permette di realizzare elementi tecnici di involucro altamente performanti in base alla tipologia di materiale utilizzato. In questo modo si possono raggiungere alti livelli di comfort durante i mesi invernali mantenendo un clima ottimale all' interno dei singoli locali senza dover fare grande affidamento sugli impianti di climatizzazione.

A tal proposito, sul mercato, si stanno sviluppando materiali naturali che sono in grado di ridurre l'impronta ecologica degli edifici. Tale concetto si lega al fatto che la popolazione, per soddisfare i propri bisogni, dovrebbe utilizzare una quantità di risorse e servizi presenti in natura, tali da permettere all'ecosistema di rigenerarsi e di assorbire i rifiuti prodotti. Tuttavia, come accennato in precedenza, questo presupposto, oggi, non viene rispettato a causa dell'eccessivo quantitativo di risorse utilizzate dalla società, e nello specifico, dal settore edilizio, che raggiunge elevati livelli di consumo soprattutto in fase d'uso di un edificio. In un contesto di salvaguardia e rispetto dell'ambiente, acquistano un ruolo fondamentale i materiali certificati, ovvero etichettati EPD (dichiarazione ambientale del prodotto) o con marchi di qualità ecologica (etichette ISO di tipo III). Tali etichette, forniscono ai consumatori informazioni sulla natura dei prodotti che intendono utilizzare, al fine di orientarli verso scelte più ecologiche, a seguito di un'analisi LCA. Quest'ultima, propriamente chiamata Life Cycle Assessment (Valutazione del Ciclo di Vita) rappresenta un metodo oggettivo di valutazione e quantificazione dei carichi energetici, ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto, attività o processo. Di questi ultimi vengono considerate le fasi del ciclo di vita, attraverso la quantificazione dell'utilizzo delle risorse e delle conseguenti emissioni in ambiente.

Sulla base di queste premesse, l'obiettivo della tesi è quello di approfondire le tematiche sopra affrontate, non solo da un punto di vista teorico, ma con grande attenzione all'aspetto pratico. Infatti, a seguito di ricerche e studi fatti in ambito di tesi, è stato proposto un esempio concreto di analisi LCA in relazione agli elementi tecnici di un edificio, caratterizzato da una struttura a telaio in legno e costituiti da materiali naturali come elementi di isolamento.
Lo studio è partito dall'analisi dei singoli materiali impiegati per la realizzazione delle stratigrafie, e di seguito, quelle degli elementi tecnici fino alla valutazione degli impatti dell'intero edificio. Questo, è a sua volta, confrontato con uno di riferimento, realizzato in calcestruzzo armato, blocchi Poroton e isolante in lana di roccia. La finalità dello studio ha permesso di individuare i vantaggi, in termini ambientali, in relazione alle diverse tipologie di involucro prese in considerazione, rispetto all'elemento tecnico di riferimento, considerando nello specifico: le emissioni di $CO_2$ e l'energia utilizzata durante



tutto il ciclo di vita, per la produzione dei singoli materiali che compongono le diverse stratigrafie di involucro. Gli elementi tecnici di involucro presi in esame durante la fase di analisi, sono stati scelti in linea con lo sviluppo di due progetti di ricerca e uno sperimentale promossi dal DAD (Dipartimento di Architettura e Design) del Politecnico di Torino e dagli enti con cui ha collaborato.
Ai fini dell'analisi è stata di fondamentale importanza, la partnership con le aziende che si sono rese disponibili a fornire la documentazione necessaria per ottenere dati specifici di ogni singolo prodotto da noi utilizzato. Fra queste si ritrovano Ton Gruppe; C.M.F. Greentech s.r.l.; Tecnosugheri s.r.l. ed Equilibrium.

Il primo degli edifici considerati in ambito di tesi, riguarda un'unità abitativa, che sarà collocata all'interno del parco sperimentale "Reland" a Cambiano. Si tratta di un progetto che verrà realizzato il prossimo anno a seguito dell'approvazione della convenzione, avvenuta di recente. Le società che hanno preso parte al progetto Reland sono Off Grid italia e Be- Eco s.r.l. Il contributo apportato all'oggetto dello studio ha riguardato la progettazione del modulo sperimentale con i relativi elaborati grafici.
Il secondo edificio riguarda il progetto PVZEN, realizzato dal DAD del Politecnico di Torino. In questo caso, il lavoro svolto in ambito di tesi ha riguardato la modifica a livello progettuale del modulo sperimentale già precedentemente realizzato per ospitare l'Ostensione della Sindone, ed in seguito rifunzionalizzato ad aula studio, per il Politecnico di Torino.
Infine, l'ultimo edificio preso in considerazione è stato il modulo MAACC (Modulo Abitativo Autosufficiente per Cicloturisti e Camminatori), realizzato dal Team Ryciclo, che è composto da professori e studenti della facoltà di Architettura, Ingegneria e Design. Il gruppo di lavoro, si è occupato dell'intero progetto, dalla progettazione alla realizzazione dell'edificio. In particolare questo modulo è stato preso come riferimento per lo sviluppo dello studio di LCA in quanto prossimo all'effettiva costruzione.

La fase che più di tutti ha richiesto un grande sforzo per lo sviluppo di questa tesi è sicuramente quella relativa al reperimento delle informazioni utili per lo sviluppo del lavoro, che allo stesso tempo ha permesso di acquisire dimestichezza e prendere coscienza degli strumenti e delle risorse realmente presenti nel mondo dell'architettura. Si sottolinea che le analisi svolte all'interno del seguente lavoro di tesi, sono finalizzate al supporto delle decisioni tecniche per la realizzazione dei moduli sperimentali e di ricerca, sopra citati, al fine di rispettare le modalità di progettazione in linea con i principi della sostenibilità ambientale in campo edilizio.

Durante questi mesi di lavoro è stata istituita una “rete” di collaborazioni, all’interno del quale si identificano tutti i soggetti partecipanti, siano essi più o meno importanti, che ci ha permesso di consolidare la teoria secondo il quale, lo sviluppo di un lavoro di questo genere, che richiede la collaborazione di numerosi attori per ottenere una buona riuscita del prodotto finale, necessita di reciproco rispetto, collaborazione e aiuto tra le varie parti, che spesso, durante i mesi di lavoro è venuta a mancare. Questo non deve essere visto come una debolezza del lavoro svolto, ma un incentivo a consolidare le capacità e le competenze, e allo stesso tempo, dare la possibilità di sviluppare un soddisfacente lavoro di tesi.

Con lo scopo di agevolare i possibili fruitori di questa tesi, si specifica che le parti dell’intera trattazione sono state assemblate e concepite originalmente, e che ogni singola informazione o dato presente in essa è stato acquisito e contestualizzato personalmente.

Fonte: dtrentesix.canalblog.com

# 1. SOSTENIBILITA' E INNOVAZIONE

Negli ultimi decenni le problematiche ambientali hanno richiamato l'attenzione dei ricercatori e della società esprimendosi con forti critiche verso quelli che sono ritenuti i maggiori responsabili delle aggravate condizioni ambientali, tra cui: l'industrializzazione pesante, il gigantismo tecnologico, il modello di sviluppo mirato alla crescita del PIL e la globalizzazione della produzione.
In passato, negli anni Settanta, considerando il carattere mutevole delle scelte tecnologiche prevalenti, era diffusa l'idea che la tecnologia fosse una variabile dipendente delle ideologie dominanti, sottolineando quanto ogni trasformazione dei valori sociali trovasse corrispondenza nelle scelte tecnologiche. Se si analizza questo punto di vista nel contesto attuale, considerando le tematiche emergenti sulla sostenibilità dei processi e prodotti, si nota come esso si discosti dai valori della società, in cui i mercati sono visti come gli strumenti utili per regolare l'economia, la società, il benessere economico e sociale si misura in termini di consumi e le innovazioni tecnologiche sono sempre positive e associate al progresso. Le idee e i valori su cui si fondano le ideologie del mondo contemporaneo vedono i principi della sostenibilità economica, sociale ed ambientale come "motori" dell'innovazione tecnologica.
Dal punto di vista scientifico, il termine " sostenibile" si riferisce alla "capacità di carico" che può sopportare l'ecosistema. Come tutti i settori in cui si utilizzano risorse materiali ed energetiche, anche l'architettura assume un ruolo centrale in questo contesto poiché responsabile di partecipare ai processi di trasformazione dell' ambiente.
A seguito delle grave crisi economica iniziata nel 2008 e la crisi energetica dei combustibili fossili, sono emersi ripensamenti in merito all'attuale modello di sviluppo che viene fortemente criticato per l'impatto che provoca a causa del consumo incontrollato dei beni presenti in natura.
La questione ambientale spinge a focalizzare l'attenzione su nuovi principi[8] per consentire il risparmio e la riduzione dell'uso di risorse. Le azioni per limitare i processi di trasformazione e dunque l'impatto

8 I principi a cui si fa riferimento sono la durabilità, la riparabilità, riutilizzabilità e riciclabilità di materiali e prodotti.

sull' ambiente in ambito edilizio, riguardano la riduzione del consumo di materiali e prodotti, stabilendo le priorità per gli interventi di recupero, riciclaggio, riuso, demolizione e dismissione. Tuttavia, affinché tutto ciò si realizzi, è necessario fare riferimento a progettazioni dettagliate, procedimenti seriali con minor spreco di lavorazioni, maggiore velocità di impianto e di conduzione del cantiere.
E' fondamentale, quindi, ripensare l'innovazione tecnologica in funzione delle nuove aspirazioni muovendosi nella direzione del risparmio energetico attraverso l'adozione di soluzioni e stili di vita capaci di ridurre i consumi energetici e impiegare in modo più accorto  e controllato i materiali e prodotti al fine di ridurre l'impronta ecologica[9].

## 1.1 La questione ambientale e lo Sviluppo Sostenibile

La questione ambientale connessa alla crescita inarrestabile delle sostanze inquinanti, all'aggravarsi dell'effetto serra e all'aumento di probabilità di cambiamenti climatici irreversibili, assume un valore ancora più centrale se analizzata in termini di sviluppo sostenibile.
Il tema, evidenziato dal mondo scientifico e politico nel corso degli ultimi decenni, dichiara la necessità di conferire un nuovo orientamento al percorso di crescita perseguito fino a questo momento dei paesi industrializzati o in via di sviluppo del pianeta.
Fin dagli anni Settanta del secolo scorso, con la pubblicazione dei primi studi dedicati ai "Limiti dello sviluppo", viene posta in essere la consapevolezza di un limite nella disponibilità delle risorse e la necessità di iniziare a programmare la crescita non solo in relazione alle esigenze contingenti, ma anche a quelle future.
Nel corso della storia recente se, da un lato, in virtù dell'evoluzione della tecnica è stato possibile procedere allo sviluppo sempre crescente, dall'altro non si è mai pensato seriamente alla presenza di un limite rispetto al mantenimento di questo modello.
Dopo l'epoca coloniale, a partire dalla metà del XX secolo, una quota esigua della popolazione è riuscita ad accedere a riserve enormi di risorse che, date le proporzioni erano sembrate, insieme alle previsioni di crescita, erroneamente illimitate. Tutto il primo secolo successivo alla rivoluzione industriale, è stato accompagnato da uno spirito estremamente ottimistico in base al quale l'uomo ha sempre riposto fiducia nella possibilità di un percorso di crescita senza condizioni. Tuttavia, il sistema ha visto affiorare tutte le proprie contraddizioni in funzione del progresso tecnologico, come condizione necessaria per il mantenimento e la diffusione di sviluppo. Inoltre sono migliorate le condizioni medie di vita generando un rapido incremento demografico su scala mondiale[10].
Ragionando in termini globali e considerando il pianeta quale unico ecosistema atto a ospitare l'uomo e la sua attività, risulta fondamentale un cambiamento di scenario.
La prima forma di "attenzione" verso il conflitto fra crescita economica, demografica e ambientale è emersa all' interno del noto rapporto del 1972 "I limiti dello sviluppo" commissionato dal Club di Roma al Massachusetts Institute of Technology (MIT). Il rapporto analizza la dinamica di cinque variabili del sistema mondiale: la popolazione, la produzione, l'industrializzazione, l'inquinamento e lo sfruttamento delle risorse naturali. Nel documento si è posta l'attenzione sulla limitatezza delle risorse presenti in natura e la conseguente necessità di arrestare il perseguimento del modello di sviluppo tipico dei Paesi industrializzati, che a causa dell'elevato consumo di materiali ed energia, e dell'elevato rilascio di inquinanti in ambiente, avrebbe, a lungo termine, danneggiato l'ecosistema terrestre.
La consapevolezza sulle problematiche del sistema globale  si afferma in modo "istituzionale" alla United Nations Conference on the Human Environment  che si è tenuta a Stoccolma nel 1972, quando è stata sancita la creazione del Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UN Environment Programme, UNEP).
Nel 1987 la World Commission on Environment and Development, conosciuta come Commissione Bruntland guidata dal Primo Ministro norvegese Gro Harlem Bruntland, ha pubblicato il rapporto *Our Common Future* all'interno del quale si parla, per la prima volta, dello Sviluppo Sostenibile. La definizione più comunemente condivisa e riconosciuta, si basa sul concetto secondo cui si dovrebbe restituire alle generazioni future un pianeta uguale o migliore di quello in cui viviamo. Si accetta, quindi, la teoria secondo cui è consentito utilizzare un quantitativo di risorse tale da lasciarne a sufficienza ai posteri affinché possano soddisfare i loro bisogni.
Negli anni si sono diffuse diverse definizioni che hanno generato numerose interpretazioni del concetto di Sviluppo Sostenibile. Le visuali condivise sono principalmente due: una più ristretta che si concentra sugli aspetti ambientali e sulle risorse, delle quali si teme un loro esaurimento e l'altra, più estesa, si interessa dello sviluppo sociale, economico ed ecologico.
Nel 1992, l'Earth Summit di Rio de Janeiro ha ripreso tale concetto di sviluppo rafforzando ancora di più la presenza limitata delle risorse in natura.
Il 14 Giugno del 1992 è stata approvata la "Dichiarazione di Rio dell'ambiente e lo sviluppo" in cui, attraverso 27 principi, si definisce quello che dovrebbe essere universalmente inteso come "sviluppo sostenibile" e, nello stesso contesto, è anche promulgato il programma Agenda 21 che si dichiara come lo strumento programmatico negoziato più vasto della storia, in quanto si prevedono oltre cen-

9 L'impronta ecologica è un indicatore complesso utilizzato per valutare il consumo umano di risorse naturali rispetto alla capacità della Terra di rigenerarle.

10 Come conseguenza, il trend di crescita è raddoppiato a partire dagli anni Cinquanta del novecento e le stime attuali parlano di ulteriori crescite, tenendo come orizzonte temporale la metà del XXI secolo.

to aree di intervento  nel quale vengono indicate le priorità e gli obiettivi di 183 Paesi sottoscrittori[11].
Più volte viene rimarcato il concetto di risorsa all' interno delle strategie definite per affrontare la sfida di uno sviluppo più sostenibile, fra le quali si ritrovano:

- La chiusura di tutti i cicli produttivi con il riassorbimento tendenziale delle esternalità (costi a carico della collettività) sociali e ambientali;
- La discrepanza fra la crescita economica e la domanda di energia e risorse;
- La sostituzione o dematerializzazione dei consumi
- L'incentivo a promuovere l'eco-efficienza[12]

Quest' ultima è concepita come uno strumento utile per i settori produttivi e gli individui per perseguire le politiche e i comportamenti da tenere, al fine di raggiungere i nuovi obiettivi relativi allo sfruttamento delle risorse.
Un esempio sul tema dell' efficienza, può essere rappresentato dal Wuppertal Institute[13] che ha formulato i programmi "Fattore 4" e "Fattore 10" , con i quali si ritiene che per permettere  ai paesi più avanzati  di perseguire uno sviluppo sostenibile è possibile affidarsi ad un calcolo che prevede di moltiplicare per 4 o per 10 l'efficienza d'uso delle risorse e dell'energia. Il risultato che si ottiene, si può raggiungere solamente se i consumatori sono in grado di modificare la scala soggettiva dei valori rispetto a quello che viene  realmente percepito come necessario al soddisfacimento dei loro bisogni.[14]
Tutto questo, sta incentivando i diversi Stati a modificare i modelli di produzione e a correggere le modalità di consumo delle risorse del pianeta.
Dopo Rio de Janeiro, lo sviluppo sostenibile è indicato nei principali obiettivi del Trattato di Amsterdam diventando uno dei principi fondamentali delle attività e delle politiche comunitarie. Fra queste ultime, il settore delle costruzioni assume un ruolo emergente, poiché contribuisce per circa il 12% alla formazione del PIL, consuma risorse non rinnovabili  e produce impatti ambientali in misura molto elevata se confrontati alla sua importanza economica.
Un altro evento importante sul tema legato alle logiche dei sistemi produttivi, si è tenuto a Berlino nel 1995 con il nome "Vertice sul clima" che si configura come la prima conferenza degli Stati che hanno sottoscritto una convenzione sul clima.
Già da sei mesi prima si era pensato ad un protocollo  che i paesi sviluppati avrebbero potuto adottare per stabilizzare e ridurre le emissioni di anidride carbonica in atmosfera. A tal proposito, la Conferenza di Berlino si è impegnata a preparare una bozza del protocollo da utilizzare a Kyoto, dove, nel dicembre del 1997,  in occasione  della Conferenza delle Parti COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), è stato formulato e promulgato il primo protocollo di attuazione della convenzione sui Cambiamenti Climatici, noto come " Protocollo di Kyoto" entrato in vigore nel 2005[15]. Esso si configura come il primo strumento attuativo e complementare alla stessa Convenzione poiché fissa gli obiettivi di riduzione delle emissioni per trentanove Paesi industrializzati. In particolare, il Protocollo ha previsto l'obbligo di ridurre, nel periodo 2008-2012, le emissioni a effetto serra in misura non inferiore al 5,2% rispetto alle emissioni registrate nel 1990[16].
I meccanismi di Kyoto coinvolgono anche il settore delle costruzioni; questo ha permesso di ridurre le emissioni pari ad una quota del 3% tra il 1990 e il 2001 nonostante l'aumento del parco edilizio.

## 1.2 L'impatto dell'edilizia sull' ambiente

Negli ultimi decenni, la comunità scientifica internazionale ha fatto grandi sforzi per quantificare i potenziali impatti sul clima dovuti alle emissioni di gas serra prodotti dalle attività antropiche, a seguito della crescita economica e demografica. In particolare, l'ultimo rapporto di valutazione dei cambiamenti climatici (AR5) presentato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[17], ha dichiarato un picco storico delle concentrazioni di anidride carbonica, metano e protossido di azoto in atmosfera: per esempio, se si considera il periodo fra il 2002 e il 2011, le emissioni dovute alle attività umane sono aumentate del 54% rispetto al 1990. Queste emissioni hanno contribuito al riscaldamento globale che risulta incrementato di 0,85 C° fra il 1880 e 2012; 0,72 °C fra il 1951 e 2012, provocando rilevanti danni ambientali come l'innalzamento del livello del mare, l'aumento delle radiazioni ultraviolette, eventi atmosferici più violenti e pericolosi[18].

11 Tale documento si concentra sulle priorità ed obiettivi di sviluppo di 183 Paesi sottoscrittori, costituendo il documento programmatico più esteso, mai negoziato della storia, grazie alle oltre 100 aree di intervento su cui è previsto di intervenire.
12 Martino Milardi "L'edificio risorsa: Caratteri e indicatori di eco-efficienza in edilizia" Edizioni Nuova Cultura, Roma 2015
13 Wuppertal Institute per il clima, l'ambiente e l'energia (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie) è un istituto di ricerca tedesco che esplora e sviluppa modelli, strategie e strumenti per sostenere lo sviluppo sostenibile a livello locale, nazionale e internazionale. La ricerca della sostenibilità presso l'Istituto Wuppertal si concentra sull'ecologia e la sua relazione con l'economia e la società. Particolare enfasi è posta sulla ricerca di innovazioni tecnologiche e sociali atte a disaccoppiare la prosperità della crescita economica dall'uso/abuso delle risorse naturali.
14 Martino Milardi "L'edificio risorsa: Caratteri e indicatori di eco-efficienza in edilizia" Edizioni Nuova Cultura, Roma 2015

15 Il trattato, per  entrare in vigore, era necessario che venisse ratificato da non meno di 55 Nazioni, e che queste stesse Nazioni firmatarie complessivamente rappresentassero non meno del 55% delle emissioni serra globali di origine antropica. Tale quota è stata raggiunta dopo la ratifica della Russia nel 2005.. Inizialmente fu sottoscritto e ratificato da 141 Paesi di cui 39 industrializzati. La riduzione media prevista, su cui sono al lavoro i paesi, è del 5,2 per cento. Al momento ammontano a 192 i membri del trattato: 191 stati e un'organizzazione.
L'impegno degli stati si concentra anche sull'attuazione di politiche industriali e ambientali che possano agire rallentando il riscaldamento del pianeta. E per chi non rispetta gli accordi sono previste sanzioni, ma esistono meccanismi che aiutano i paesi che ne fanno parte a non incappare in multe salate. Si possono comprare quote da chi ha prodotto meno anidride carbonica di quella pianificata, oppure realizzare – in altre nazioni – opere che migliorino l'aspetto energetico e ambientale. L'Italia lo ha ratificato il primo giugno del 2002.
16 La quota di riduzione dei gas serra fissata per l'Unione Europea era dell'otto per cento, con obiettivi diversi per i singoli Stati membri (burden sharing), per l'Italia l'obiettivo stabilito di riduzione era del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. (isoladelgransasso.gov.it/dati/notizie/229.PDF)
17 Il Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC)  è stato istituito nel 1988 dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) e dall'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) per valutare i cambiamenti climatici ed i potenziali potenziali impatti ambientali e socio-economici che ne derivano.
18 Maurizio Cellura, Francesco Guarino, Sonia Longo, Giovanni Tumminia, Climate change and the building sector: Modelling and energy implications to an office building in southern Europe, in "Energy for Sustainable Development", Volume 45, August 2018, Pages 46-47

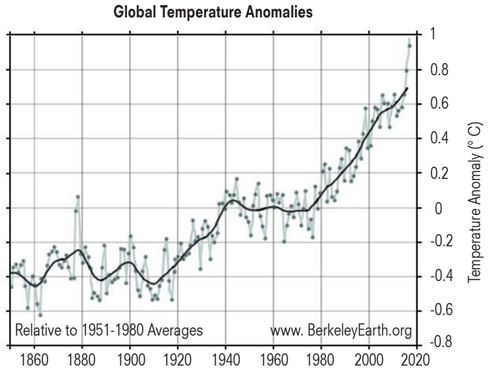



Figura 1. Nel grafico è indicata in nero la temperatura tra il 1860 ed il 2012 ed in blu e azzurro quella simulata dai modelli in assenza dei gas serra immessi dall'uomo. Ciò che si evince è che la divergenza delle due linee si manifesta soprattutto a partire dagli anni 60 e che senza l'attività antropica che produce emissioni, si avrebbero ancora delle temperature affini a della seconda metà dell'800. (http://www.meteobellaria.it/stazione1/editoriale.php)

La volontà di limitare le emissioni e i conseguenti cambiamenti climatici, risulta evidente attraverso la stipula dell' Accordo di Parigi[19] del 2015, con il quale si è prefissato l'obiettivo di mantenere la temperatura al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali. Un ulteriore passo in avanti è stato fatto da parte dell' IPCC, nell'Ottobre del 2018, con l'approvazione del rapporto denominato "Il rapporto Speciale sul Riscaldamento Globale di 1,5°C"[20] al fine di limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C rispetto a 2°C. L'incentivo di intraprendere nuovi percorsi per volgersi verso una società più sostenibile è dovuto, soprattutto, ai recenti studi che attestano il peggioramento della concentrazione dei gas serra in ambiente: secondo alcune analisi, ci si sta avviando ad un incremento delle temperature medie ambientali di 3 °C entro il 2100[21] con il rischio di provocare danni di seria entità a livello ambientale.

19 Siglato nel 2015 in occasione della 21a Conferenza delle parti dell'UNFCCC 1 (COP21) e firmato il 22 aprile 2016 a New York da oltre 170 Paesi.

20 Il rapporto mette in evidenza un numero di impatti dei cambiamenti climatici che potrebbero essere evitati limitando il riscaldamento globale a 1,5°C anziché 2°C o più. Per esempio, entro il 2100 l'innalzamento del livello del mare su scala globale sarebbe più basso di 10 cm. con un riscaldamento globale di 1,5°C rispetto a 2°C. La probabilità che il Mar Glaciale Artico rimanga in estate senza ghiaccio marino sarebbe una in un secolo con un riscaldamento globale di 1,5°C, mentre sarebbe di almeno una ogni decennio con un riscaldamento globale di 2°C. Le barriere coralline diminuirebbero del 70-90% con un riscaldamento globale di 1,5°C, mentre con 2°C se ne perderebbero praticamente tutte (>99%). (https://www.cmcc.it/ipccitalia/i-governi-approvano-la-sintesi-per-decisori-politici-dellipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c/)



In questo contesto, l'industria delle costruzioni risulta essere tra i principali responsabili considerando che non solo consuma grandi quantità di energia e fonti energetiche per soddisfare i fabbisogni sempre crescenti della popolazione che esige di vivere in condizioni sempre migliori, ma anche perché inquina l'ambiente e produce gas a effetto serra[22]. Questo comparto, infatti, oltre al consumo del 40% dei materiali presenti nell'intero sistema economico, genera il 40-50% delle emissioni globali di gas a effetto serra e degli agenti di piogge acide[23]. Lo sviluppo di queste tematiche è diventato motivo di grande interesse da parte delle politiche energetiche e ambientali dei Paesi Europei, le quali considerano il settore edilizio, un'area chiave per il raggiungimento degli obiettivi che mirano alla riduzione delle emissioni.

Ciò è affrontato nella direttiva 2010/31/UE del 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, come sostituta della direttiva 2002/91/CE, che costituisce la base per le normative nazionali da attuare negli Stati membri. In particolare, tale norma specifica che entro la fine del 2020 tutti i nuovi edifici saranno quasi Zero Energy Building (nZEB) definiti come edifici ad altissima efficienza energetica[24]. Queste costruzioni si caratterizzano per il consumo "a energia quasi zero"[25] durante la fase d'uso; il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto da energia prodotta in loco da fonti rinnovabili, come solare (fotovoltaico e termico), eolico, geotermico e biomassa, ottenendo l'auto efficienza energetica durante l'utilizzo dello stesso[26]. Tuttavia, la riduzione dei consumi energetici durante la fase d'uso costituisce soltanto, uno degli aspetti da prendere in considerazione per orientarsi verso la sostenibilità ambientale in edilizia[27]. Infatti, per quantificare in maniera corretta il consumo totale di energia impiegata nel processo edilizio è necessario considerare anche l'energia incorporata relativa all'intero ciclo di vita della costruzione, riguardante: l'estrazione delle materie prime, la produzione dei materiali, la demolizione e smaltimento dei rifiuti.

Si possono, dunque ritrovare due principali tipologie di energia che le costruzioni richiedono:

- Energia diretta, propriamente detta "Operating Energy" (OE), che è l'energia impiegata durante le fasi di costruzione, prefabbricazione, trasporto e manutenzione. In particolare riguar-

21 www.cmcc.it/ipccitalia/i-governi-approvano-la-sintesi-per-decisori-politici-dellipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c/

22 A livello europeo circa il 36% delle emissioni di CO2 sono legate agli edifici.(Climate change and the building sector: Modelling and energy implications to an of :ce building in southern Europe

23 Tesi: Operating energy ed embodied energy a confronto [Risorsa elettronica] : caso studio di un edificio residenziale di medie dimensioni = Operating energy ed [sic!] embodied energy comparison : case study of medium size residential building /Veronica Valentini ; rel. Valentina Serra, Roberto Giordano

24 www.cmcc.it/ipccitalia/i-governi-approvano-la-sintesi-per-decisori-politici-dellipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c

25 La definizione "edificio a energia quasi zero" si riferisce all'eventualità di produrre in loco l'energia rinnovabile senza farne un vincolo lasciando spazio ad altre possibilità soprattutto nella definizione dei confini del sistema (Murature ad alte prestazioni : valutazioni termiche, acustiche, ambientali ed economiche di soluzioni di involucro in laterizio / Monica Lavagna, Michele Paleari, Davide Mondini)

26 Monica Lavagna, Michele Paleari, Davide Mondini "Murature ad alte prestazioni : valutazioni termiche, acustiche, ambientali ed economiche di soluzioni di involucro in laterizio" Maggioli Editore, 2000

27 Monica Lavagna, Michele Paleari, Davide Mondini "Murature ad alte prestazioni : valutazioni termiche, acustiche, ambientali ed economiche di soluzioni di involucro in laterizio" Maggioli Editore, 2000

da la fase d'uso dell'edificio riferendosi al consumo di energia utilizzata per mantenere condizioni di comfort all'interno dei locali.
- Energia indiretta, più propriamente definita "Embodied Energy" (EE), che si riferisce all'energia finale necessaria al funzionamento del processo di produzione dei materiali impiegati e all'energia immagazzinata dal prodotto in uscita dal processo produttivo[28].

Per avviarsi verso una progettazione più responsabile e meno impattante dal punto di vista ambientale è necessario rivedere e modificare le pratiche costruttive attuali e ricercare nuovi metodi e tecnologie per diminuire l'elevato consumo energetico.

## 1.3 Perseguire le sostenibilità grazie all'innovazione nel settore delle costruzioni

*"Un'innovazione può derivare dal caso o dalla necessità, da una situazione fortuita o, più spesso, dalla volontà di dare soluzione ad un'esigenza o a un problema che non si è in grado di risolvere nei modi convenzionali" [29].*

La sostenibilità esprime una priorità concreta sulla quale intervenire per correggere le distorsioni, recuperare gli equilibri compromessi e adottare soluzioni capaci di limitare gli impatti futuri sul sistema ambientale. La volontà di rispondere a questa necessità ha portato il mondo della ricerca a sperimentare nuove soluzioni, sistemi e prodotti.
Come già detto precedentemente, il settore delle costruzioni è uno degli ambiti su cui si può intervenire considerando che si configura fra i principali responsabili degli impatti ambientali a causa della grande quantità di rifiuti prodotti e di risorse non rinnovabili utilizzate. Si può pensare, dunque, che l'innovazione trova nel costruire sostenibile una delle più grandi sfide mai accettate.
Per rispondere a questa nuova esigenza nell' ambito edilizio, è necessario riformulare le modalità di intervento in funzione dei nuovi requisiti ambientali richiesti dall'utenza e dall'intero sistema politico e socio-economico. In particolare, gli attuali sviluppi dell'innovazione tecnologica nel campo della produzione industriale per l'edilizia, vedono spinte di mercato e sollecitazioni di carattere etico e ambientale, indirizzate a coniugare aspetti di efficienza economica ed ecologica, favorendo processi produttivi caratterizzati da impatti ridotti nelle modalità di utilizzo delle risorse, di organizzazione dei cicli produttivi e di gestione del ciclo di vita dei prodotti. In tale ambito, la ricerca della competitività si traduce in un avanzamento verso l'eco-efficienza. Essa è in grado di unire obiettivi apparentemente inconciliabili come quelli di "eccellenza economica" ed "eccellenza ambientale" e consentire alla direzione aziendale di muoversi verso il raggiungimento di alcuni tra i più importanti traguardi dello sviluppo sostenibile.
Tra gli operatori del settore edilizio, i primi ad intraprendere questa nuova strada sono stati i produttori di materiali, componenti e sistemi che hanno colto tale opportunità per rispondere ai problemi legati all'ambiente e per ampliare il loro mercato al fine di essere più competitivi. Alcune aziende, sono riuscite a raggiungere risultati vantaggiosi attraverso il "posizionamento strategico ecologicamente orientato"[30] che consiste nell'individuazione di un mix di prodotti o strategie costruttive alternative, in grado di rispondere ai requisiti di comfort ambientale e risparmio delle risorse, attraverso l'uso di tecniche e metodologie progettuali idonee alle esigenze di salute e benessere, facilità di assemblaggio, reversibilità, durabilità.
Appare evidente, come una delle problematiche più rilevanti sia quella degli scarti che vengono immessi in ambiente a seguito della produzione industriale e dello smaltimento a fine vita dei beni. Per limitare il problema, gli esperti del settore hanno accettato la cosiddetta "sfida innovativa del prossimo millennio", definita in questo modo perché si sta cercando di trovare soluzioni nuove ed efficaci come, per esempio, l'utilizzo di materiali e prodotti riciclati. Questi ultimi, nonostante nella mentalità condivisa della società siano ritenuti inferiore per qualità e prestazione rispetto ai materiali tradizionali[31], rappresentano un'ottima alternativa per il problema legato alla diminuzione e smaltimento dei rifiuti.
Per quanto riguarda le tecniche costruttive sostenibili, invece, vi è l'attuale grande interesse delle costruzioni a secco e della smontabilità degli edifici: anche in questo caso si tenta di rispettare i principi su cui si basa la sostenibilità dell'edilizia che consiste nell' eliminare gli sprechi e valorizzare gli scarti. Attraverso questi metodi si è in grado di concepire edifici in cui siano semplificate le operazioni di manutenzione, adattamento, sostituzione di parti e, a fine ciclo, demolizione e recupero dei materiali e dei prodotti impiegati. Questo porta a progettare pensando non solo ai successivi interventi di manutenzione, sostituzione e demolizione, ma anche a costruire edifici in cui ogni singola parte sia costituita da materiali facilmente ripiegabili. L'utilizzo del "rottame" diventa decisivo per la necessità di attuare interventi di modifica o, in alcuni casi, di demolizione parziale o totale delle costruzioni considerato che esse tendono, per ragioni funzionali, ad invecchiare molto prima dei materiali con i quali sono realizzate.
Si può dire, dunque, che tra le nuove tecnologie e l'impiego dei materiali innovativi, sta il futuro pros-

28 Tesi: Operating energy ed embodied energy a confronto: caso studio di un edificio residenziale di medie dimensioni/Veronica Valentini ; rel. Valentina Serra, Roberto Giordano
29 Nicola Sinopoli, Valeria Tatano "Sulle tracce dell'innovazione tra tecniche e architettura" Edizioni Franco Angeli, 2002
30 Tesi: Eco-efficienza e innovazione tecnologica nella produzione industriale per l'edilizia. Criteri per la selezione di prodotti per gli interventi di retrofit
31 Ci si riferisce ai "nuovi prodotti" sul mercato utilizzati in edilizia. Si tratta di prodotti ottenuti da irrefrenabili cicli produttivi che producono beni a basso costo, di breve durata se confrontati con quelli artigianali, e allo stesso tempo dissipano risorse preziose e gettano nell' ambiente enormi quantità di scarti.

simo dell'edilizia sostenibile, per rispondere in maniera più completa alla domanda sostenibile, non bisogna solo soffermarsi sulla sperimentazione di nuovi prodotti e tecniche costruttive, ma decisive sono anche le innovazioni di processo che forniscono le procedure e gli strumenti di ottimizzazione dei nuovi obiettivi che devono coniugare ambiente e sviluppo. Risulta, dunque, fondamentale un cambiamento dei ruoli degli operatori all'interno del processo edilizio (committenti, progettisti, costruttori, produttori di materiali e componenti) all'esterno (istituzioni internazionali, governo, autorità locali).

Fonte: graphicriver.net/item/green-ecology-tree-concept-hand-drawing-sketch

# 2. LO SVILUPPO DI NUOVI SISTEMI VERSO UN'OTTICA PIU'SOSTENIBILE: IL SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO

Il settore della produzione edilizia è in continua e rapida evoluzione per dare risposte sempre più prestazionali alle istanze della progettazione attenta ai risvolti ambientali. Accanto alle tradizionali soluzioni costruttive a umido[32], si stanno affermando sempre di più sistemi leggeri a elevate prestazioni che grazie alla loro natura fortemente industrializzata, consentono di ottenere un prodotto finito di alto livello. Più in particolare, si tratta di tecnologie di prefabbricazione, con produzione e lavorazione controllata in officina, trasporto e montaggio in opera da parte di squadre competenti con garanzia di tempi e risultati di alta qualità. L'incentivo di sperimentare soluzioni innovative e intraprendere nuovi percorsi nel campo edilizio è dato soprattutto dalle normative vigenti che stanno sempre più modificando il loro assetto per tutelare l'ambiente e le sue risorse.  Infatti, con la Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica, in edilizia, sono stati fissati i limiti restrittivi di consumo energetico per le costruzioni, responsabili del 40% del consumo globale di energia nell'Unione Europea, stabilendo che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero, con anticipazione di un paio di anni[33] per gli edifici di pubblica fruizione.
In questo contesto l'applicazione delle chiusure leggere può trarre motivo di diffusione. Esse possono essere realizzate con sistemi sufficientemente flessibili che garantiscono un'applicazione rapida tramite fissaggi meccanici a secco; relativa semplicità di apportare modifiche o integrazioni al sistema; possibilità di programmare un processo di recupero e riciclaggio di alcuni componenti e materiali in fase di costruzione e di riparazione.

32 Dal punto di vista della sostenibilità, questo sistema non sembra essere una soluzione efficace: esso prevede l'impiego di materiali che non sono ecocompatibili, quasi mai riciclati e difficilmente riciclabili; non hanno buone capacità di isolamento termico per ottenere requisiti di risparmio richiesti ed è necessario utilizzarne un maggiore quantitativo; producono detriti e scarti di lavorazione che devono essere inviati alle discariche. Non meno importante è il grande quantitativo di acqua che viene utilizzato per il confezionamento delle malte.
33 All'anno 2018

## 2.1. La struttura tecnologica del sistema

La tecnologia stratificata a secco, chiamata anche "sistema struttura/rivestimento", si caratterizza per la sua natura meccanica basata su un procedimento di assemblaggio, anziché sul fissaggio con malte come accade nei sistemi a "umido".
Il percorso progettuale e costruttivo di un singolo componente si basa sull'unione di diversi elementi derivati da processi industriali secondo la messa a punto di schemi modulari.
Considerando la sostanziale natura industrializzata, ogni unità tecnologica è inserita all'interno di un sistema fortemente integrato e dunque, come ogni sistema meccanico, ammette un numero limitato di tolleranze dimensionali e basa la sua funzionalità sull'efficienza delle connessioni[34]. Questa tecnologia appare molto articolata per l'ampio repertorio di nodi costruttivi che la caratterizza, ragione per cui risulta fondamentale saper gestire il progetto edilizio attraverso la collaborazione di più figure specializzate nelle diverse discipline che servono a realizzare il sistema.
La difficoltà della progettazione si eleva sensibilmente perché fin dalle fasi iniziali, è necessario approfondire tutti gli aspetti di carattere esecutivo. Da questo però, ne deriva il controllo delle prestazioni e dunque la qualità del prodotto finito.
Durante la costruzione dell'edificio, la fase di assemblaggio si traduce in una notevole semplificazione del processo perché i tecnici sono impegnati in una serie di operazioni intuitive ed univocamente determinate che avvicinano le loro mansioni a quelle tipiche di una sequenza di montaggio[35].
In cantiere, dopo il sistema portante, si procede con la realizzazione dei sistemi o subsistemi tecnologici, servendosi dell'ausilio di sottostrutture ed elementi di fissaggio, attraverso la sovrapposizione di elementi diversi come pannelli o lastre.[36]
Il sistema stratificato a secco prevede tre componenti tecnologico-funzionali: l'involucro esterno, la struttura e l'involucro interno.
Il primo, assolve la funzione di chiusura assicurando la resistenza all'intrusione, alla spinta del vento, all'azione degli agenti atmosferici e fornisce un primo contributo prestazionale dal punto di vista termo-igrometrico e acustico[37]. Esso si configura come un "elemento tecnico" caratterizzato da diversi elementi supportati da un sistema di orditure metalliche composte da guide, profilati e montanti.
La struttura può adottare più soluzioni: le più di diffuse prevedono l'utilizzo di legno, acciaio o calcestruzzo. Nel primo caso si utilizza legno massiccio o lamellare per la realizzazione di uno schema a travi e pilastri piuttosto fitto con sezioni ridotte che rientrano nello spessore dell'elemento finito. Questo metodo è indicato soprattutto per edifici di tipo residenziale, considerate le altezze ammissibili che non superano i tre piani fuori terra. L'utilizzo di sistemi a telaio in legno fornisce, inoltre, un duplice contributo alla prestazione ambientale, sia per la natura rinnovabile che per le proprietà termoisolanti del legno.
Le strutture in acciaio consentono di raggiungere sviluppi maggiori e gli aspetti che le contraddistinguono sono: la leggerezza, la velocità di montaggio e l'alta riciclabilità del materiale. Tuttavia l'utilizzo di questo sistema prevede di considerare due aspetti di fondamentale importanza, fra cui la sostenibilità economica in relazione all'aumento dei prezzi delle materie prime e l'impatto ambientale che produce a seguito dell'elevato quantitativo di emissioni inquinanti prodotte in stabilimento[38].
La terza possibilità costruttiva, è costituita dal calcestruzzo armato in cui, analizzando in maniera completa il sistema edificio, si mette in luce come, in realtà, non sia possibile individuare un complesso esclusivamente a secco: lo scheletro portante è costituito da pilastri e travi armati di c.a. gettati in opera, i quali creano il telaio strutturale, mentre l'involucro perimetrale è realizzato a secco.
Infine, l'involucro interno assolve diverse funzione poiché oltre a definire la finitura dei locali dentro all'edificio, serve anche a contenere gli impianti tecnologici. Inoltre, comprende gli elementi della stratigrafia che includono componenti per la coibentazione e freni al vapore, e soddisfa le prestazioni termo-igrometriche considerando la sua integrazione agli elementi dell'involucro esterno.

34 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010
35 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010
36 Per esempio un involucro costituito da sub sistemi tamponamento e copertura
37 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010



## 2.2 I caratteri distintivi del sistema costruttivo a secco

I fattori che individuano le potenzialità prestazionali del sistema stratificato a secco sono principalmente quattro:

- Sostenibilità ambientale
- Flessibilità d'uso
- Velocità di realizzazione
- Sicurezza

Dal punto di vista della sostenibilità ambientale, si raggiungono elevati standard prestazionali grazie alla correlazione e al fissaggio meccanico di materiali altamente specializzati. Questo metodo, che si sviluppa secondo un processo di stratificazione, consente di ottenere un involucro caratterizzato da un "elemento tecnico" complessivo di spessore ridotto che garantisce il raggiungimento di alte prestazioni.
Esiste, poi, un altro grande vantaggio legato al sistema a strati che è quello di poter scegliere fra un'ampia gamma di soluzioni possibili per soddisfare le esigenze di comfort degli abitanti che variano a seconda delle diverse condizioni ambientali presenti all'interno dell' edificio.
All'interno dei sistemi di natura industrializzata, la scelta della tecnologia stratificata a secco risulta

38 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010

appropriata per la sua propensione a incoraggiare risparmi lungo tutta la filiera a ad ottenere risultati vantaggiosi in termini di LCA. Applicando l'analisi del ciclo di vita al settore edilizio, è possibile fare riferimento alle seguenti macro fasi: produzione dei materiali e approvvigionamento in cantiere, costruzione, utilizzo e dismissione dell' edificio[39].
Nelle prima e nell'ultima si incentiva l'utilizzo di materiali che prevedono uno sfruttamento limitato delle risorse presenti in natura ed un basso impatto ambientale durante la fase di produzione degli stessi.
Per quanto riguarda il processo di realizzazione, si hanno dei riscontri positivi in termini di consumo di acqua[40] che, diversamente delle tradizionali tecnologie a "umido"[41], viene considerevolmente ridotto. Ciò è dovuto al fatto che la tecnologia a "secco" , utilizzando connessioni meccaniche per collegare gli elementi strutturali, non prevede l'utilizzo di malte che richiedono un consistente quantitativo di acqua durante la fase di confezionamento. Inoltre, l'impiego di un sistema integrato e modulare caratterizzato dall' assemblaggio di materiali ed elementi prefabbricati che arrivano direttamente in cantiere, permette di diminuire lo spreco di materiali e, di conseguenza, le risorse impiegate. Tale aspetto si avvalora in concomitanza delle operazioni di manutenzione, durante la fase di utilizzo dell'edificio poiché risulta più semplice la sostituzione o la riparazione di parti compromesse. Risultati ottimali si riscontrano anche in termini di riduzione dei consumi necessari per mantenere delle condizioni di comfort interno[42].
Nella fase di demolizione, il principio della componibilità si dichiara ancora una volta un aspetto vantaggioso per la possibilità di separare ogni singolo elemento, precedentemente inserito all' interno di una struttura più o meno complessa, semplificando la fase di differenziazione dei rifiuti ed il conseguente riciclaggio dei materiali.
La flessibilità d'uso è un altro dei vantaggi: essa permette di ottenere una grande libertà compositiva grazie all'aspetto della componibilità. La flessibilità si può ottenere su due scale: a macro scala[43], è possibile smontare gli elementi necessari senza operazioni di demolizione e riutilizzare gran parte dei materiali impiegati; a micro scala[44], in cui è possibile intervenire sul sistema costruttivo in maniera del tutto agevole per operare modifiche o aggiunte al fine di migliorare la performance dello stesso.
Un altro dei pregi del sistema a secco è la velocità di realizzazione. Questa è dovuta al fatto che non sono previsti tempi di maturazione, come invece accade per le tecnologie tradizionali a "umido", e ai tempi del cantiere che sono strettamente connessi a quelli dell'assemblaggio degli elementi che

39 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010
40 L'acqua viene considerata come una delle principali risorse da salvaguardare dallo Sviluppo Sostenibile.
41 Le tecnologie a "umido" prevedono un consistente utilizzo di acqua durante il confezionamento delle malte.
42 Riscaldamento invernale, condizionamento estivo, qualità dell' aria interna.
43 Gli interventi a macro scala comprendono una serie di modifiche quelli che vengono fatte per soddisfare le mutate esigenze di carattere distributivo.
44 Gli interventi di micro scala riguardano le modifiche che vengono fatte per implementare le prestazioni garantite dall' edificio.



compongono la stratificazione.
Anche dal punto di vista della sicurezza, l'adozione di queste tecnologia garantisce dei benefici. Come primo aspetto, si considera la capacità dell'edificio costruito a secco di rispondere in maniera ottimale agli eventi sismici grazie all'impiego di strutture o di elementi "leggeri"; come secondo aspetto, si considera la "sicurezza" in cantiere grazie alla presenza di materiali dal peso ridotto che riduce il rischio di infortuni e, conseguentemente, un contenimento degli oneri legati alla sicurezza con un aumento non indifferente dell'efficienza di processo[45].

## 2.3 La filiera del legno nelle costruzioni a secco

Nell'architettura contemporanea, l'involucro edilizio definisce la caratterizzazione morfologica degli edifici e costituisce l'elemento tecnico funzionale che regola gli interscambi energetici tra ambiente interno ed esterno. Nell'industria delle costruzioni, le chiusure lignee si collocano tra i sistemi costruttivi che rispettano requisiti di sostenibilità ambientale sia per le caratteristiche intrinseche del materiale rinnovabile che per la tecnologia a secco che consente la realizzazione di involucri prestazionali, limitando il dispendio di energie e riducendo i tempi di realizzazione.
Questo materiale industrializzato e finemente lavorato, può essere impiegato in maniera totale: come struttura, rivestimento esterno, isolamento termo-acustico e rivestimento interno.
Considerando l'utilizzo del legno come materiale strutturale, si può osservare come si sta via via diffondendo il suo utilizzo grazie allo sviluppo delle nuove normative italiane ed europee sul calcolo statico e antisismico. Infatti, il legno dichiara la sua stabilità dimensionale in relazione a tre aspetti: leggerezza, elevata duttilità dei giunti e capacità dissipativa. Nel caso specifico dei sistemi struttura/rivestimento, si nota un ottimo rapporto tra resistenza e peso proprio perché, dotati di una massa contenuta, subiscono in maniera ridotta gli effetti di un sisma poiché ne amplificano in maniera limitata le azioni[46]. I sistemi in legno riescono anche ad assumere un comportamento duttile che permette di resistere alle azioni sismiche e ai carichi orizzontali, grazie all'utilizzo di connettori deformabili se adeguatamente dimensionati.
Il vantaggio, in termini di operatività, di un cantiere che sfrutta la filiera del legno, rispetto a quello di tradizionali sistemi a "umido", si evidenzia in termini di qualità, precisione, riduzione di tempi e di ergonomia. Gli aspetti legati alla facilità di lavorazione, al carattere industrializzato del cantiere e all'utilizzo di sistemi prefabbricati, permettono accurate tolleranze nelle giunzioni e maggiore sicurezza

45 Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini "Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l'architettura della casa" Editore Flaccovio Dario, 2010
46 Marco Imperadori "La meccanica dell'architettura : la progettazione con tecnologia stratificata a secco" Editore Il Sole 24 ore, 2010

per gli operatori in cantiere. Inoltre, non è da sottovalutare l'aspetto relativo alla libertà progettuale e alla possibilità di sperimentare molteplici configurazioni creative nelle forme e finiture grazie alla duttilità del materiale. La duttilità permette anche di ottenere un'elevata compatibilità con gli altri materiali costruttivi in caso di soluzioni ibride ed una facilità di manutenzione e realizzazione anche per ampliamenti di edifici esistenti e ristrutturazioni[47].
Dal punto di vista della durabilità, ci si trova di fronte a strutture con durata di circa 50 anni, come imposto dalla normative e dalle disposizioni tecniche. Tuttavia, è possibile oltrepassare questo limite, sempre garantendo i requisiti di stabilità e sicurezza del sistema, mediante la cura dei particolari nella fase di progettazione e di posa, permettendo di incrementare la traspirazione e la permeabilità dall'umidità.
Tutti questi aspetti che caratterizzano il sistema, concorrono alla realizzazione di una struttura "versatile" in quanto i progettisti possono modificarla a calibrare la sua complessità in relazione al contesto, alle esigenze della committenza ed ai vincoli formali e spaziali.
Utilizzare il legno, si dichiara una scelta valida, considerate anche le caratteristiche e le proprietà tecniche e meccaniche del materiale. Tra di esse si individuano la bassa conducibilità termica, l'elevata inerzia termica e l'igroscopicità che garantiscono un' ottima qualità dell' aria indoor per ottenere un elevato livello di benessere percepito dagli abitanti.
Per diminuire i consumi dovuti al riscaldamento e al raffrescamento durante i mesi più freddi e caldi dell'anno, è possibile ricorrere a elementi tecnici di involucro compositi e stratificati, costituiti da materiali isolanti dotati da alta densità[48]. Anche l'umidità relativa degli ambienti è ben controllata per la capacità di assorbire velocemente e cedere lentamente l'umidità.
Le qualità del legno si dichiarano interessanti anche in caso di incendio: i sistemi costruttivi lignei, al contrario di ciò che si pensa se si considera la natura del materiale altamente infiammabile, presentano una buona resistenza al fuoco. Essi dichiarano un comportamento prevedibili e dunque, è necessario sovradimensionarli in modo da conservare la sezione resistente per il tempo previsto dal progetto antincendio. Il sovradimensionamento delle sezioni, l'uso di ferramenta non esposta all'aggressione della fiamma e di rivestimenti in legno da sacrificare all' incendio, garantiscono una resistenza complessiva tra i trenta e i sessanta minuti. Il processo che si verifica, prevede che il legno bruci lentamente dall'esterno verso l'interno, formando progressivamente uno strato carbonizzato isolante che protegge la parte centrale ancora resistente, senza emettere fumi tossici e opachi nell' aria. Ne consegue che la rottura dell'elemento strutturale avviene per riduzione della sezione resistente e non per il repentino abbattimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. Nel caso di partizioni stratificate di chiusura, la pericolosità di bruciare si riduce, se si utilizzano materiali di derivazione vegetale con un basso grado di combustibilità e rivestimenti interni in gesso, poiché quest'ultimo è concepito come il materiale principe nella protezione antincendio[49].
Naturalmente, realizzare strutture in legno si dichiara vantaggioso dal punto di vista ambientale: Il legno è rinnovabile, è riciclabile e richiede un contenuto quantitativo di energia nelle fasi di produzione e posa in opera. Le specie lignee da utilizzare sono quelle derivate da colture programmate e certificate; la loro applicazione deve privilegiare valutazioni globali legate all'analisi del ciclo di vita, produzione e dismissione. La gestione e l'utilizzo delle foreste che forniscono la materia prima, devono essere regolati con modalità e livelli tali da salvaguardare la loro produttività, biodiversità e capacità di rigenerazione.
Oltre a queste potenzialità che traggono beneficio a livello ambientale, se ne riscontrano altre sul piano della sanità degli individui. L'utilizzo del legno è vantaggioso perché non rilascia emissioni, polveri o fibre nocive dopo la posa in opera, e a fine si può smaltire recuperando l'energia da utilizzare in altri processi produttivi[50].
Ottime sono anche la prestazioni dal punto di vista acustico in quanto ha un buon potenziale di assorbimento grazie alla sua natura fibrosa e all'elevato coefficiente di smorzamento del materiale stesso. Ancora una volta, entra in gioco la potenzialità dell'accoppiamento di più strati con elevate capacità isolanti che, uniti ad un opportuno disaccoppiamento acustico e ad un accurato studio di dettagli di connessione, consentono di raggiungere prestazioni termiche e acustiche performanti.

47 Marco Imperadori "La meccanica dell'architettura : la progettazione con tecnologia stratificata a secco" Editore Il Sole 24 ore, 2010
48 Come la fibra di legno

49 Marco Imperadori "La meccanica dell'architettura : la progettazione con tecnologia stratificata a secco" Editore Il Sole 24 ore, 2010
50 L'energia viene restituita se si impiegano processi di termo-valorizzazione.

# 3. NUOVI MATERIALI ECO-EFFICIENTI

Lo studio della storia mette in mostra come gli uomini di tutte le epoche si sono dati da fare per cercare di "prevedere" il futuro a cui si andava incontro, come tentativo di diminuire le incertezze e controllare lo sviluppo e l'evoluzione. Il motivo è strettamente legato alle attuali condizioni socio-ambientali, di conseguenza economiche, che spingono l'uomo a sviluppare delle modalità di controllo dei processi produttivi che determinano i vari livelli di consumo energetico-materiale legati alla realizzazione di ogni manufatto. Si cerca quindi di ricercare delle teorie da seguire che acquistino un ruolo strategico durante la realizzazione dei prodotti, facendo si che ogni nuovo prodotto o materiale che venga realizzato non intacchi il patrimonio ambientale ancora disponibile. Queste teorie non sono per nulla disconnesse dal tema del progetto, che deve tendere a soluzioni che si adeguano in modo compatibile al proprio contesto ambientale. Ma ciò, non deve essere visto come una scelta che potrebbe essere adottata, per migliorare le condizioni ambientali, ma deve essere intesa proprio come un vincolo imposto e necessario[51].
Il settore delle costruzioni si è rivelato essere il fattore che maggiormente incide sui processi naturali che generano nel tempo "cicli e quantità" di risorse necessarie ai vari sistemi ad esse connessi.
"*Scommettere sul futuro*" è lo slogan che sempre più sta prendendo piede in ambito di ricerca, cercando allo stesso tempo di regolare gli ambiti oggetto di studi, come quello edilizio, che si sviluppa in modo sempre meno definito. Il settore delle costruzioni dovrebbe focalizzarsi maggiormente sulla tutela controllata delle risorse e delle loro qualità di resilienza[52]. Quest'ultimo infatti, negli ultimi anni, sta sviluppando sempre di più un'attenzione particolare verso i comparti produttivi maggiormente impattanti in termini ambientali[53]. L'obiettivo principale dell'industria edilizia, è quello di raggiungere gli standard fissati dall'Unione Europea sulla sostenibilità ambientale, sociale ed economica, definendo allo stesso tempo i parametri per l'attuazione di una green economy, intesa come risposta del

51 "....il contesto architettonico è un fattore decisivo per un progetto...Quello che realmente genera un progetto è un'idea che opera sopra il contesto, sociale o materiale, in una forma specifica, ma che non è una semplice conseguenza dell'esistente". (Gauzin Muller 2003)
52 In ecologia e biologia, la resilienza è la capacità di una materia vivente di autoripararsi dopo un danno, o quella di una comunità o di un sistema ecologico di ritornare al suo stato iniziale, dopo essere stata sottoposta a una perturbazione che ha modificato quello stato.
53 Il settore delle costruzioni è responsabile del 50% degli impatti ambientali prodotti, tenendo in considerazione che il 50% circa delle materie prime estratte a livello mondiale sono destinate alla produzione edilizia (UNEP).

mondo industrializzato al problema energetico e alle attuali tecniche di sviluppo impiegate.
Il ramo dell'edilizia, che in primis risentirà di queste trasformazioni, è quello legato della produzione industriale, che inizia a risentire di una forte innovazione tecnologica caratterizzata da sollecitazioni di carattere etico e ambientale, cercando di stabilire un equilibrio tra l'efficienza economica ed ecologica. Si sviluppa così una forte competitività all'interno dell'industria edile, che viene intesa come un passo in avanti verso l'eco-efficienza. Gli operatori principali che si muovono verso l'eco-efficienza sono: i produttori di materiali; i produttori dei componenti e dei sistemi per l'edilizia. Ciascun operatore, ha il compito di riportare la sostenibilità per cercare di ottenere dei vantaggi di tipo competitivo all'interno di questo grande mercato. Sicuramente il raggiungimento di ottimi risultati non si ripercuote solo sull'azienda produttrice, ma va a favore anche dell'ambiente, in quanto l'agire in modo virtuoso, porta ad una notevole riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale ed estiva, con un limitato utilizzo di impianti tecnologici, che se possibile, saranno alimentati da fonti rinnovabili. Possiamo quindi affermare che, l'innovazione eco-efficiente, vista rispetto ai prodotti e alle soluzioni tecnologiche adottate, rappresenta una scelta obbligata sia per le nuove costruzioni, sia per il patrimonio esistente, fortemente caratterizzato da inadeguati livelli prestazionali soprattutto legati al rendimento energetico, comfort abitativo e salvaguardia ambientale.

## 3.1 Il concetto di eco-efficienza

L'Eco-Efficienza consiste nell'offerta di beni e servizi a un prezzo competitivo, che soddisfino i bisogni umani e assicurino la qualità della vita, riducendo nello stesso tempo gli impatti ecologici e l'intensità di risorse lungo tutto il ciclo di vita a un livello almeno in linea con la capacità di carico/assorbimento stimato dalla Terra[54]. Secondo molti, l'Eco-Efficienza rappresenta principalmente un concetto di business, ovvero, le aziende che seguono un processo di gestione eco-efficiente possono ottenere maggiori ricavi con un minore dispendio di materia ed energia ottenendo, allo stesso tempo, minori emissioni, scarti e rilasci di sostanze inquinanti o tossiche. L'eco-efficienza può essere ricercata e implementata sia all'interno dell'azienda (in particolare le aziende siderurgiche), sia all'esterno, lungo l'intera catena del valore del prodotto o del servizio offerto.
Il concetto di Eco-Efficienza è stato diffuso nel 1993 dal World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)[55]. Secondo il WBCSD l'Eco-Efficienza può essere perseguita attraverso differenti strategie:

- ridurre l'intensità delle materie utilizzate;

54 Definizione presentata dal WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) alla conferenza mondiale di Rio de Janeiro sull'ambiente e sullo sviluppo nel 1992.
55 Il World Business Council for Sustainable Development fornisce una piattaforma per le aziende per esplorare lo sviluppo sostenibile, condividere conoscenze, esperienze e migliori pratiche e per sostenere posizioni di business su questi temi in una varietà di forum, collaborando con governi, organizzazioni non governative e intergovernative.



- ridurre l'intensità dell'energia utilizzata;
- ridurre la dispersione di sostanze tossiche;
- favorire la riciclabilità dei materiali;
- massimizzare l'impiego di risorse rinnovabili;
- aumentare la durata del prodotto;
- aumentare l'efficacia dei servizi.

Questo concetto è ritenuto la base di partenza per la formulazione dei processi di attuazione dello sviluppo sostenibile, che termina con all'approccio scientifico dell'Eco-Innovazione. Per Eco-Innovazione si intende la realizzazione di nuovi processi produttivi, nuovi prodotti e servizi, nuovi metodi di gestione e nuove tecniche commerciali, che può evitare o ridurre i rischi per l'ambiente.
Nel 1996[56] il World Business Council for Sustainable Development ha elaborato, insieme ad altri organismi, degli indicatori di base per cercare di approfondire sempre di più lo studio dell'eco-efficienza. Una volta individuati, questi indicatori sono stati utilizzati come metodo di incoraggiamento e supporto per le imprese per riuscire a misurare i valori di Eco-Efficienza delle loro azioni, valutando allo stesso tempo i progressi e le prestazioni in funzione degli obiettivi preposti. Gli indicatori di base, sono stati inseriti anche nel settore delle costruzioni, per permettere il controllo dei processi e prodotti, sviluppando in questo modo, scale di indagine usate come mezzo di comunicazione e confronto tra attori, stakeholder e ricerche approfondite, in questo modo tutte le aziende possono utilizzarli in base alle loro necessità per comunicazioni esterne circa gli obiettivi raggiunti o in fase di sviluppo.
E' fondamentale, però, specificare che, gli indicatori di Eco-Efficienza, come d'altronde tutti gli indicatori in genere, non possono misurare e comunicare tutte le informazioni ottenute dallo studio che è portato avanti, perché in base alla tipologia di informazioni che vengono immesse nel mercato relative ad un determinato prodotto, ne deriva la credibilità degli indicatori stessi. La credibilità viene valutata da strumenti esterni per dimostrare la trasparenza[57] negli impianti e nella concezione degli indicatori.
I tre indicatori di eco-efficienza che definiscono il punto di partenza di studi e sperimentazioni applicative sono:

1. ***Indice di produttività delle risorse***. Questo primo indicatore di eco-efficienza viene utilizzato per esprimere le materie, l'energia che sono contenute nei prodotti, sottoprodotti e rifiuti utilizzabili di un'impresa, comparati con le materie e l'energia consumate per la produzione, tutto espresso in percentuale.
2. ***Costi incorporabili e di eliminazione in funzione della percentuale di durata.*** L'indicato-

56 Il riferimento potrebbe apparire un po' datato rispetto alle innovazioni degli ultimi anni, ma risulta essere un momento significativo per le conseguenze determinate nell'innovazione, nei modelli di produzione e di consumo.
57 Si osserva, in fase di analisi, la portata, i limiti ed il livello di aggregazione di un determinato indicatore, poiché i livelli di aggregazione elevati possono nascondere delle tendenze rilevanti o fornire delle informazioni meno significative.

re è stato concepito per dividere il costo di produzione[58] d'un prodotto più il costo della sua eliminazione definitiva, per il numero di anni della sua durata di vita utile. L'obiettivo principale di questo indicatore è l'avvicinamento alla buona gestione del ciclo di vita e la riciclabilità dei prodotti.

3. ***Indice dei rifiuti tossici.*** L'ultimo indicatore è utilizzato per esprimere, attraverso un numero unico, la quantità di sostanze tossiche residue durante un periodo di vita del prodotto. Viene calcolato come la somma della massa di ciascuna delle sostanze tossiche residue, tenendo conto del coefficiente di ponderazione della loro rispettiva tossicità, comparata alla produzione durante lo stesso periodo.

Una volta stabiliti i principi fondamentali alla base di un calcolo di Eco-Efficienza bisogna stabilire la fattibilità tecnica di un dato indicatore, tenendo in considerazione la sua destinazione, il significato per i diversi utilizzatori e la convenienza della sua produzione che tutta l'impresa ottiene.
Quando si parla di eco-efficienza all'interno del settore delle costruzioni e dei settori edilizi, in relazione con la richiesta di conformità ecologica e capacità di controllo degli impatti energetico-ambientali, non si può non fare riferimento a tre grandi aree problematiche, tra cui:

1. L'uso delle risorse, intese come energia, acqua, suolo, materie (prime, secondarie, grezze);
2. L'intensità di energia e materia delle risorse stesse;
3. Le emissioni in atmosfera prodotte dai processi produttivi dell'intero ciclo di vita.

Diverse sono le iniziative che le aziende applicano per integrare il tema dell'Eco-Efficienza al loro interno, per cercare di ridurre al massimo gli aspetti di criticità ambientale. Tra queste emergono le innovazioni strategiche, innovazioni gestionali, innovazioni incrementali.
Un comportamento eco-efficiente nell'ambito della produzione edilizia può dipendere sia da caratteristiche intrinseche dei prodotti, ovvero, prestazioni, impieghi, rendimenti nel tempo, modalità di messa in opera, impatti nel ciclo di vita, sia da processi produttivi. E' possibile valutare l'Eco-Efficienza di un determinato prodotto considerando le ricadute in termini di contributo alla riduzione dell'impatto ambientale dell'intero edificio, con riduzione dei livelli di inquinamento, dei consumi energetici e il controllo degli impianti nel tempo.
Ecco perché sarebbe necessario considerare l'edificio come una sommatoria complessiva di caratteri energetico-materiali, che costituisce una vera e propria risorsa per gli ambiti, non solo contemporanei, ma se ben impiegati e quindi ben progettati, anche in ambiti passati e futuri.

58 Costo espresso in funzione del prezzo d'acquisto.



## 3.2 Lo sviluppo di nuovi prodotti: i materiali di origine naturale

Negli ultimi anni, l'industria edile, già sviluppata e affermata, ha iniziato a porre maggiore attenzione alle nuove strategie e tecnologie che concettualmente prendevano sempre più piede nella comunità, cercando di adeguarsi allo sviluppo di nuovi prodotti, non solamente da un punto di vista produttivo, ma anche di marketing. L'affermarsi sempre più forte della "*coscienza ambientale*", ha spinto sempre di più la ricerca nel settore dei materiali a preoccuparsi delle interferenze tra i materiali e le ricadute ambientali.
Lo sviluppo di nuovi prodotti, non avviene in modo casuale, bensì dopo attenti studi legati alla questione ambientale, che fa in modo che questi diventino una risposta ai requisiti di comfort e di risparmio di risorse non rinnovabili, mirano a privilegiare, tecniche edilizie e metodologie progettuali idonee alle esigenze di benessere, durabilità ed Eco-Efficienza. L'attenzione che si pone all'ambiente, non guarda solo a parametri di non tossicità, di impiego di risorse rinnovabili o di basso contenuto energetico in fase di produzione, ma anche alla riduzione di peso e di impatto per prodotti con prestazioni rispondenti alle esigenze di benessere, facilità di assemblaggio, reversibilità, facilitazione del disassemblaggio e, nel caso del recupero, salvaguardia dei caratteri architettonici e costruttivi.
I prodotti che acquistano maggiore importanza sono quelli caratterizzati dal peso degli elementi e dall'imballaggio molto contenuto, che permettono di ottenere costi più bassi a conseguenza di un ridotto ingombro e per la maggiore economia nel trasporto. La progettazione di nuovi materiali per l'allungamento del periodo di vita dei prodotti, rappresentano una riduzione dell'impatto ambientale. Una buona azione sostenibile per l'ambiente e per l'economia urbana è sicuramente quella di recupero che si contrappone alla demolizione non controllata. Le materie prime secondarie sono sottoposte a notevoli miglioramenti per una più corretta applicazione. Si entra a far parte di un'ottica di riprogettare i materiali e le tecnologie in base ad un futuro riciclo o smaltimento alla fine del ciclo di vita.
L'uso di materiali riciclati in edilizia è da considerare come una delle strategie a favore dello sviluppo sostenibile, cosicché il rifiuto diventi una risorsa da riciclare o riutilizzare. Riciclare un materiale è strettamente legato al processo economico della fase di sviluppo, produzione e convenienza di quest'ultimo. La durabilità di un prodotto, non ha come obiettivo quello di raggiungere una durata eccessiva del prodotto stesso, ma mira ad un utilizzo adeguato, almeno che non si presenti un'alternativa tecnologica e progettuale  che soddisfi i requisiti richiesti in modo molto più efficace, conveniente e con minore impatto sull'ambiente. Il prodotto migliore sarà sicuramente quello più flessibile, integrabile, personalizzabile, di qualità e in grado di rispondere alle esigenze degli utilizzatori finali (progettisti, imprese, installatori, utenti, collettività).

Rientrano nei parametri di Eco-Efficienza i prodotti di origine naturale, che siano vegetali o animali, che costituiscono la materia prima, la riciclabilità del materiale, l'assenza di emissioni di sostanze tossiche in fase di lavorazione e di esercizio, la riutilizzabilità del prodotto, la rinnovabilità della risorsa. Si è ritenuto opportuno inoltre, portare avanti una ricerca su quelli che oggi si possono definire prodotti eco-sostenibili o eco-efficienti, in grado si garantire il benessere degli utenti, ridurre l'impatto sull'ecosistema, sfruttare materiali che hanno la possibilità di rigenerarsi o essere rigenerati e con un grande uso di fonti energetiche alternative. La scelta dei materiali riportati come esempio, è ricaduta sulla canapa, l'argilla, il sughero, la lana di pecora e la paglia.

**Figura 1**. Piantagione di canapa, fonte: en.wikipedia.org/wiki/Hemp

**Figura 2**. Blocchi in Biomattone, fonte: www.equilibrium-bioedilizia.it/prodotto/biomattone

### 3.2.1 Canapa

La canapa è considerata, tra tutti i materiali naturali, un materiale che offre elevate prestazioni in fase di utilizzo, nel rispetto della sostenibilità ambientale e del benessere delle persone. Essa risulta essere un prodotto di semplice coltivazione, con una crescita abbastanza veloce, un basso consumo di acqua per la sua alimentazione e non è soggetta a costanti attacchi di parassiti. È considerata un prodotto in grado di sintetizzare il carbonio e ridurre le emissioni di $CO_2$ nell'atmosfera. I principali prodotti realizzati con la canapa sono gli isolanti.
Il processo produttivo per la realizzazione di materiali isolanti a base canapa vede l'impiego di frammenti della corteccia dello stelo della canapa, di fibre della pianta di canapa e l'uso di additivi come l'amido di patata, vetro solubile o carbonato di sodio (che ha funzione di antifiamma) e bitume per l'impermeabilizzazione. Purtroppo però ancora oggi, i prodotti a base canapa risultano essere poco presenti ed affermati all'interno del mercato edile, in quanto è maggiore l'offerta dei prodotti piuttosto che la domanda. Oltre agli isolanti, la canapa viene impiegata per la realizzazione di elementi da utilizzare in consolidamenti statici, in quanto, la fibra di canapa presenta buone proprietà meccaniche, notevole resistenza agli sforzi e alle deformazioni. Inoltre il suo impiego è anche legato al design, con la produzione di pannelli a bassa densità per l'arredamento oppure come elemento di rivestimento degli edifici e come biomassa per energia.
In Italia inoltre, è in fase di sviluppo un progetto che vede la realizzazione di blocchi in base canapa, con l'aggiunta di un legante come la calce, da impiegare come parte strutturale di un edificio. La particolarità di questi blocchi, che prendono il nome di Biomattone, è che possono essere utilizzati per dar vita a nuovi fabbricati oppure impiegati per le fasi di ristrutturazione di edifici già esistenti.

#### 3.2.1.1 Il Biomattone

Il Biomattone è un materiale biocomposito ottenuto dalla lavorazione di calce e canapa insieme a formare dei blocchi prefabbricati delle dimensioni di 20x50 cm. La miscela di calce canapa è data dalla combinazione della parte legnosa dello stelo, il canapulo, e un legante a base di calce idraulica con aggiunta di acqua. Successivamente i due composti vengono lavorati all'interno di una impastatrice per ottenere il composto finale. Il cemento calce-canapa ha la capacità di indurire per evaporazione dell'acqua, carbonatazione e idratazione della calce, di conseguenza, in base all'impiego che verrà fatto di questo cemento e alla durabilità che si vuole conferire al prodotto finale, è necessario stabilire le proprietà del cemento calce-canapa che dipendono dal tipo di legante (calce aerea, calce idraulica), dal tipo di canapa (lunghezza del canapulo) e dalle loro proporzioni (quantità di calce e canapulo utilizzati).
La canapa, all'interno del composto, è identificata come un materiale riempitivo leggero, detto anche aggregato, mentre la calce funge da legante e conservante. Il canapulo è invece un sottoprodotto della lavorazione della fibra di canapa, è un prodotto ricco di silice e aiuta l'indurimento della calce. Una volta avvenuto il processo di indurimento, il biocomposito si trasforma in un materiale rigido e leggero con ottime caratteristiche di isolamento e durevolezza. Il biocomposito calce-canapulo può essere impegnato nella costruzione di muratura massiccia, come se fosse un comune conglomerato cementizio indipendentemente dalla tipologia costruttiva adottata. L'impiego del Biomattone permette di rispettare i pilastri fondamentali che stanno alla base dello sviluppo sostenibile, ovvero: quello ambientale, quello sociale e quello economico. Da un punto di vista ambientale la miscela di calce-canapa è in grado di ridurre le emissioni di diossido di carbonio e di diminuire la percentuale di $CO_2$ presente nella struttura degli edifici, riuscendo così ad ottenere un elevato isolamento termico. Inoltre visto la riciclabilità della calce e la biodegradabilità della canapa risulta essere un materiale che non crea problemi di smaltimento. Dal punto di vista economico, il biocomposito è sostenibile perché è un materiale prodotto a livello locale, mettendo in collegamento diretto l'industria e l'agricoltura, limita l'impiego di materiali da costruzione sintetici e comporta un aumento di occupazione. Dal punto di vista sociale, invece, permette di ottenere notevoli benefici tra cui: l'incremento dell'agricoltura legata alla produzione di canapa e una nuova fonte di guadagno e inoltre, vivere all'interno di ambienti realizzati con la canapa rende l'ambiente salubre.

**Figura 3.** Blocco di argilla, fonte: la foto è stata prodotta dalle candidate

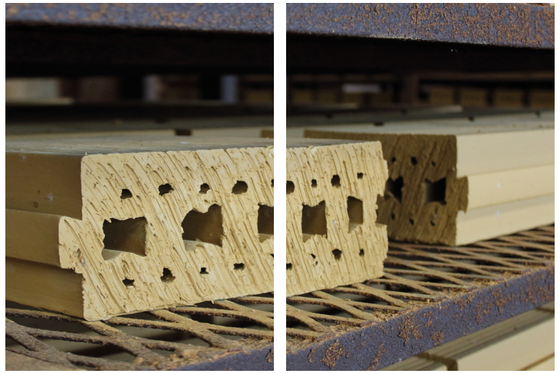


**Figura 4.** Blocchi Kryoton, fonte: la foto è stata prodotta dalle candidate



### 3.2.2 Argilla

L'argilla cruda, o terra cruda, è un materiale da costruzione usato fin dall'antichità. La terra è stata sempre impiegata in diversi settori della bioedilizia, in particolare, un terreno che si presenta privo di ciottoli e pietrisco, ma allo stesso tempo ricco di argilla, con semplici processi di lavorazione, lasciato ad essiccare e poi cotto, permette di ottenere dei prodotti che possono essere usati per vari impieghi e con poco dispendio di energia.
L'argilla cruda, in bioarchitettura, è considerato uno dei materiali a più basso impatto ambientale. Spesso la ritroviamo in architettura mescolata a sabbia calcarea o gesso. Presenta una buona trasmittanza termica, ottime resistenze meccaniche, alta traspirabilità, facilità di posa. Può essere impiegata per la realizzazione di pavimenti o anche, e soprattutto, per realizzare isolanti termici. I pannelli isolanti di argilla infatti possono essere facilmente applicati a pareti e soffitti. La scelta dell'argilla come materiale isolante è data dal fatto che essa è dotata di una serie di proprietà naturali che producono effetti positivi sulla vita delle persone, aumentandone allo stesso tempo le condizioni di benessere. Essa infatti ha la capacità di assorbire l'umidità presente nell'aria e rilasciarla gradualmente, migliorando così le qualità dell'aria all'interno di un ambiente abitato.
Nel tempo, l'argilla, è in grado di mantenere intatte le sue proprietà, anche in condizioni climatiche particolari, è resistente al fuoco e non viene attaccata da parassiti. Presenta anche grandi capacità di isolamento acustico.
Altri materiali realizzati a base di argilla sono: gli intonaci, che riescono a regolare l'umidità all'interno degli ambienti; i calcestruzzi alleggeriti, utilizzati soprattutto per opere di ristrutturazione e vantando una leggerezza maggiore rispetto al normale calcestruzzo; i laterizi refrattari, ottenuti dalla miscela di argilla e cemento, usati principalmente per stufe e barbecue; mattoni, usati principalmente per coperture, sottofondi, sottotetti e intercapedini.

**Figura 5.** Sughereto, fonte: www.exploretuscia.com/il-sughereto-di-luce

**Figura 6.** Pannelli in sughero bruno, fonte: www.tecnosugheri.it/corkpan



### 3.2.3 Sughero

Il sughero è la parte terminale del libro di alcune piante, la cui funzione principale è quella di impermeabilizzare ed isolare termicamente il fusto proteggendolo dall'eccessivo freddo e caldo. Fondamentalmente il sughero è un insieme di cellule morte, che sono state suberizzate[59] per non farle disgregare e rendendole allo stesso tempo impermeabili ed isolanti. Sono molte le tipologie di piante che producono il sughero, ma il sughero utilizzato principalmente in commercio viene prodotto dalla *Quercus Suber*. La quercia da sughero, anche detta "sughera", è una pianta selvaggia della famiglia delle querquacee, è alta in media 10 metri, a volte sfiorando anche i 20 m e circonferenze tra i 2,50-4 m. Per la crescita della pianta è necessario un clima mediterraneo occidentale, definito come clima portoghese, in quanto è il paese dove prospera meglio.
Il più grande mercato che sfruttava la lavorazione del sughero era legato alla produzione di turaccioli (ovvero i tappi da vino) che portava ad un consumo del 70-80% del materiale. Successivamente ha preso sempre più piede ed importanza lo sviluppo di isolanti termici naturali che ne ha ampliato la produzione. L'aspetto più importante del sughero è che si riesce a sfruttare quasi tutta la percentuale di materiale raccolto, perché anche gli scarti vengono lavorati per produrre degli agglomerati di sughero. L'utilizzo nel settore industriale è sempre in crescita anche per quanto riguarda le innovazioni tecnologiche. Nel settore edilizio sono stati realizzati isolanti di notevoli prestazioni dando vita ad un nuovo mercato produttivo.
La produzione di agglomerati di sughero viene principalmente divisa in due grandi aree: quella nera e quella bianca. La produzione di agglomerati neri presenta dei granuli di sughero attraverso la lavorazione dovuta ad un aumento delle temperature, che comporta un aumento di volume e la fuoriuscita di sostanze di tipo resinoso che permettono l'incollatura. Gli agglomerati bianchi, invece, vengono prodotti attraverso l'impiego di collanti di varia natura, l'impasto a sua volta viene messo in forno per favorire l'essiccamento del collante. In Italia, la produzione del sughero occupa la percentuale più alta nel settore di produzione dei trucioli, mentre solo per il 15% è utilizzato nel settore della bioedilizia, percentuale in aumento negli ultimi anni. Nel settore delle costruzioni, l'applicazione del sughero è principalmente per la produzione di isolanti termici. Il sughero viene facilmente utilizzato come isolante in quanto, presenta ottimi valori di trasmissione del calore, inoltre ha buone capacità d'isolamento termico e acustico, è molto leggero e con un'elevata resilienza e buona elasticità. Riesce a resistere a carichi elevati, all'invecchiamento, alla marcescenza e non viene attaccato da roditori e insetti. Oltre che per la produzione di pannelli, il sughero viene utilizzato come riempimento delle cavità come isolante termico oppure come aggregato per l'alleggerimento delle strutture. L'applicazione del sughero avviene anche nel design, in fase del tutto sperimentale, perché presenta delle caratteristiche elastiche, comprimibili, impermeabili, resistenti, leggeri e galleggianti che neanche il legno possiede.

59 In botanica, modificazione (detta anche *suberizzazione*) della parete delle cellule vegetali che costituiscono i vari tipi di sughero, caratterizzata dalla comparsa di suberina soprattutto a livello dello strato secondario della parete.

**Figura 7.** Lana di pecora, fonte: countrysidenetwork.com/daily/livestock/sheep/raising-sheep-for-profit-how-to-sell-raw-fleece/

**Figura 8.** Paglia, fonte: www.flickr.com/photos/barockschloss



### 3.2.4 Lana di pecora

Un altro esempio di prodotto di origine natura è sicuramente quello della lana di pecora. Il settore dove ha più impiego questo materiale è quello degli isolanti che presentano un uso limitato di energia rispetto ad altri prodotti simili sul mercato[60]. Questo materiale è costituito da fibre proteiche e, in quanto tale, non digeribile da piccoli roditori e insetti, non attaccabile da muffe, idrorepellenti e scarsa elettricità statica. Presenta un ottimo comportamento al fuoco e presenta al suo interno *cheratina*[61] che con la presenza di amminoacidi è in grado di neutralizzare sostanze dannose alla salute degli individui e rende l'aria purificata in tempi più brevi.
In edilizia, il maggiore impiego di questo materiale sono i materassini e i feltri isolanti (oppure come strati antiristagno e antiradice nei tetti giardino con un notevole risparmio di acqua e il mantenimento della temperatura costante). Riesce a interagire con l'ambiente circostante ed è quindi in grado di assorbire l'umidità presente nell'aria fino ad un massimo del 33% rispetto al suo peso, sviluppando così energia termica che blocca i fenomeni di condensa. La messa in opera degli isolanti in lana di pecora non presenta particolari rischi tecnici, richiede l'utilizzo di attrezzature semplici e garantisce elevate condizioni di sicurezza. I pannelli possono tranquillamente essere dimensionati a mano.

### 3.2.5 Paglia

La paglia è un materiale naturale che può essere utilizzata in balle, come isolante, oppure come aggregato alla terra cruda. Lo sviluppo di una filiera di utilizzo della paglia per le costruzioni permette di recuperare elevati quantitativi di paglia che altrimenti rimarrebbero inutilizzati anche all'interno del settore agricolo[62].
Il progresso ha portato a sviluppare delle nuove tecnologie in grado di lavorare la paglia così da farne prodotti impiegabili all'interno dell'architettura. Un esempio possono essere le pareti portanti per abitazioni, realizzate con delle balle di paglia sottoposte al processo di pressatura meccanica. Ipotizzando il singolo recupero di un terzo di paglia ottenuta da frumenti, si ottengono ben 5 milioni di tonnellate di paglia pressata. Tale quantità permette la realizzazione di mezzo milione di abitazioni di 100 metri quadri per almeno un milione di persone. Se si osserva il contesto europeo, si può notare come il quantitativo di paglia prodotta è di 35 milioni di tonnellate, che permettono di realizzare 3,5 milioni di abitazioni per 10 milioni di persone. A livello mondiale si parla di 100 milioni di tonnellate di paglia utilizzabili nel settore delle costruzioni. Le balle di paglia vengono inserite tra i montanti di

60 Il quantitativo di energia non è stato calcolato, ma si riferisce a lavorazioni di breve durata, prive di alte temperature e approssimato al 3% rispetto al quantitativo di energia in media utilizzato.
61 La cheratina è una proteina filamentosa ricca di zolfo, elemento contenuto nei residui amminoacidici di cisteina; è molto stabile e resistente.
62 Utilizzare la paglia come prodotto di sviluppo industriale favorisce l'aumento della rendita e della qualità di vita degli agricoltori, che altrimenti sarebbero esposti alle variabilità del mercato cerealicolo internazionale. Teniamo inoltre conto del fatto che il valore della paglia, raccolta con il solo scopo della produzione di materiale da costruzione, non comporta maggiorazioni rispetto ai normali prezzi di raccolta del materiale, ma allo stesso tempo generano un reddito ulteriore di quasi un miliardo di euro e centinaia di posti lavoro a livello nazionale.

legno, utilizzate come isolamento e successivamente intonacate o rivestite. Le proprietà isolanti della paglia variano in funzione del tipo di paglia, della sua densità e del contenuto di umidità dopo l'asciugatura. Un edificio, realizzato in paglia, possiede qualità superiori per quanto riguarda l'isolamento termico, con una conseguente diminuzione di consumo di energia per il riscaldamento e ridurre, allo stesso tempo, la quantità di $CO_2$ prodotta. Inoltre presenta grande capacità di assorbimento dell'anidride carbonica all'interno dell'edificio realizzato, facendo si che sfruttare gli scarti della produzione cerealicola internazionale, diventa un grande vantaggio per generare reddito e posti di lavoro, realizzando allo stesso tempo edifici sostenibili e rispettosi dell'ambiente.





Fonte: it.paperblog.com/il-mondo-senza-umani-un-mondo-migliore

# 4. METODI E STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL'ECO-EFFICIENZA

*"L'industria delle costruzioni dovrà sempre più confrontarsi con strumenti procedurali, incentivi e deterrenti che riusciranno non solo a raggiungere l'obiettivo ambientale e allo stesso tempo stimolare ricerca e innovazione del settore."*[63]

Il processo di sviluppo di strumenti atti al controllo dell'eco-sostenibilità dei prodotti edilizi, prende sempre più piede all'interno delle industrie, inizialmente utilizzato per il controllo dei costi energetici e dell'efficienza della produzione con un unico obiettivo alla base: la questione economica. Successivamente, con l'affermarsi sempre più insistente del concetto di eco-sostenibilità rispetto all'ambiente e agli impatti ambientali, si è sentito il bisogno di rendere il consumatore sempre più informato e consapevole delle sue scelte sui prodotti da utilizzare. Per questo motivo, quelli stessi strumenti, nati soltanto per un fine economico, iniziano a migliorarsi sempre più, e ad essere sempre più utilizzati in tutti i settori, anche quello edilizio. Essi sono su base volontaria e si occupano del calcolo delle prestazioni ambientali degli edifici, così da permettere ai consumatori e agli utilizzatori di orientarsi verso scelte più eco-efficienti per ottenere prestazioni sempre più evolute. Ciò ha portato allo sviluppo di normative e direttive europee sulle politiche ambientali da adottare, ma che in Italia vengono semplicemente recepite come delle generiche prescrizioni sui prodotti per l'edilizia. Purtroppo, ancora oggi non esiste un metodo univocamente codificato, perché la sperimentazione, legata al settore industriale ed edilizio, è sempre più complessa e sempre in continua evoluzione, però si cerca di trovare delle soluzioni temporanee per cercare di ottenere dei risultati.

I metodi adottati per la valutazione vengono di solito racchiusi in due categorie, in base alla quantità di parametri analizzati e della tipologia di valutazione effettuata e sono:

- i metodi di valutazione a punteggio, **multicriterio**, che prendono in considerazione un'ampia gamma di parametri, fornendo così una valutazione di tipo qualitativo;
- i metodi di valutazione **sintetici**, basati su rigorosi eco-bilanci, che prendono in considerazione un ridotto numero di parametri, fornendo una valutazione di tipo quantitativo.

63 Adriana Baglioni, 1999, prorettore delegato del Politecnico di Milano.

## 4.1 Metodi multicriterio

Una delle prime strategie che è stata adottata per la valutazione ambientale dei prodotti edilizi e successivamente per la valutazione ambientale dell'edificio, sono i metodi a punteggio *multicriterio*.
I metodi di verifica multicriterio, sono degli strumenti che fungono da supporto alla progettazione[64], perché sono in grado di sintetizzare quelli che sono i punti forza di un progetto *green*, in particolare relativi alla categoria dei materiali.
Alla base di un processo multicriterio si ha la verifica dei requisiti ambientali e la loro classificazione in macro aree ad ognuna delle quali viene assegnato un punteggio di merito[65] (credito) più o meno alto, in relazione alla scala di riferimento assunta. I punteggi ottenuti, adeguatamente pesati, in base all'importanza attribuita a ciascun requisito in relazione all'intero sistema di valutazione, portano ad una classificazione di tutti gli edifici rispetto ad una scala di qualità che "misura" il loro grado di eco-sostenibilità, il cui valore, compreso all'interno di un intervallo definito, permette di attribuire un valore alla sostenibilità ambientale. In questo modo è possibile confrontare vari prodotti tra loro simili, facili da decifrare anche da persone non esperte di sostenibilità e valutazione.
L'analisi multicriterio permette di effettuare delle valutazioni intermedie sulle diverse fasi del processo eseguendo le opportune analisi direttamente all'interno del team di progetto. Essa, inoltre, è utilizzata come strumento di controllo della qualità del processo per la committenza, sia essa pubblica o privata.
Per quanto possa essere diffuso l'utilizzo dei metodi multicriterio, questi però presentano degli aspetti limitativi tra cui:

- un approccio prestazionale, in quanto è notevolmente elevato il numero di indicatori preso in considerazione che lo rendono prescrittivo, ovvero un processo che si impone come legge;
- l'impostazione dell'analisi tende ad ottimizzare sempre più i singoli elementi del progetto senza però considerare una verifica complessiva dei risultati. Infatti, viene dato per scontato che la somma delle prestazioni corrisponda alla prestazione finale complessiva dell'edificio;
- nell' analisi multicriterio, manca spesso un bilancio unitario dell'intero ciclo di vita, soprattutto nei criteri legati alla scelta dei materiali e dei componenti edilizi;
- non è considerato un metodo oggettivo, perché la scelta dei criteri da considerare spetta a chi porta avanti l'analisi.

Esistono vari strumenti di valutazione e certificazione ambientale degli edifici, a livello internazionale, europeo e anche italiano.

64 I parametri che vengono attribuiti durante l'analisi vengono presi come riferimento in fase di scelta di materiali, componenti e prodotti.
65 Il punteggio viene assegnato se l'edificio rispetta i parametri stabiliti di impatto ambientale, permettendo di ottenere così, dei punti *premial* per il conseguimento della certificazione ambientale.



### *U.S. GREEN BUILDING COUNCIL_LEED*

Sviluppato da USGBC (United States Gree Building Council_1993, USA)

Scala di punteggio: Base; Argento; Oro; Platino.

Criteri di valutazione: Riuso di materiali, riuso di componenti, uso di materiali riciclati, uso di materiali locali, uso di materiali rinnovabili, uso di legno certificato.

Quello più diffuso e che sempre più prende piede è la certificazione americana *LEED*[66]. Inizialmente questa certificazione LEED nasceva solo per l'America e quindi tarata per gli standard tipici americani. Successivamente con la sua diffusione a livello internazionale arrivò anche in Italia[67], trovando alcuni ostacoli per la valutazione degli edifici, perché differivano le tecniche costruttive, i materiali e soprattutto, nel contesto italiano, non era tanto necessario costruire nuove architetture, quanto cercare di recuperare ciò che già esisteva.
Per accedere alla certificazione LEED bisogna rispettare dei requisiti di pre-accesso obbligatori, la cui valutazione deve risultare positiva, perché in caso contrario non si accede alle successive fasi di valutazione del criterio. Ad ogni scheda compilata viene assegnato un punteggio, che sarà uguale a zero nel caso in cui non si rispettino i requisiti di valutazione. Il punteggio finale che viene attribuito all'analisi è data dal rapporto tra sommatoria dei punteggi conseguiti e il punteggio massimo conseguibile.

66 LEED *(Leardership in Energy and Environmental Design)* che insieme alla certificazione inglese *BREEAM (BRE Environmental Assesssment Method)*, è in grado di emettere vere e proprie certificazioni ambientali.
67 Venne istituito un consorzio, a Trento, che si prese la briga di contestualizzare la certificazione LEED all'Italia tenendo conto le specificità climatiche, edilizie e normative del Paese. e aggiungendo un altro criterio, ovvero il LEED for Historic Building, un nuovo protocollo di certificazione volontaria che valutava la sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici con diverse destinazioni d'uso.

*PROTOCOLLO ITACA*

PROTOCOLLO ITACA

Sviluppato Gruppo di lavoro interregionale per lla bioedilizia coordinato dalla Regione Friuli Venezia Giulia_2004, IT

Scala di punteggio: L'edificio acquisisce un punteggio che varia da -1 a +5 attribuito in funzione del soddisfacimento di ognuno dei criteri

Criteri di valutazione: Materiali riciclati e/o recuperati, materiali derivati da fonti rinnovabili, materiali locali per finiture, materiali riciclabili o smontabili.

UNI EN ISO 14020:2002 _Etichette e dichiarazioni ambientali_Principi generali

In ambito strettamente italiano, si è sentita la necessità di inserire nei regolamenti edilizi, criteri di sostenibilità per gli interventi sul territorio e di avere strumenti di valutazione per la verifica del soddisfacimenti di questi criteri. Per questo motivo, è stato istituito il *Protocollo ITACA*[68] *Nazionale 2011*, che viene usato come autovalutazione su tutto il territorio italiano.

ITACA nasce come uno strumento di valutazione del livello di sostenibilità delle costruzioni, in particolare del livello di sostenibilità energetico ambientale degli edifici nelle fasi di progetto, costruzione ed esercizio. Il Protocollo ITACA si basa su una checklist di criteri di valutazione utili per quantificare le prestazioni dell'oggetto edilizio connesse alle tematiche ambientali. I criteri a loro volta vengono quantificati nella pratica attraverso indicatori di prestazione cui è associato un punteggio numerico. La valutazione complessiva dei punteggi relativi a tutti i criteri determina il livello di sostenibilità energetico-ambientale raggiunto. Il Protocollo ITACA è composta da 35 schede che analizzano ogni singolo requisito relativo ai diversi aspetti dell'eco-sostenibilità di un progetto. E' in linea con la direttiva comunitaria 2010/31/CE che prevede che nel 2020 ci sia un consumo quasi zero per gli edifici pubblici. Tra tutti i criteri di valutazione, il Protocollo ITACA, è l'unico che attribuisce un punteggio negativo, infatti si va da -1 a +5, punteggio che viene assegnato dopo un confronto con i valori dello standard di paragone o scala di prestazione (benchmark). Il punteggio zero identifica il rispetto della pratica costruttiva corrente, che rispetta le leggi o i regolamenti vigenti.

68 Il protocollo è stato approvato nel 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.



## 4.2 Metodi di valutazione sintetici: Life Cycle Assessment (LCA)

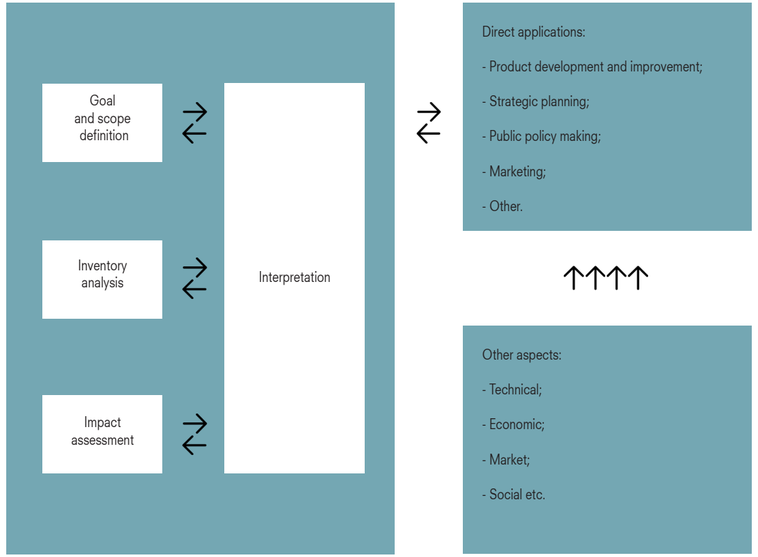
I metodi sintetici sono basati su pochi indicatori di tipo quantitativo, che permettono di effettuare una valutazione degli impatti ambientali di un prodotto, di un processo o di un servizio, in modo approfondito e oggettivo. A livello internazionale, prende sempre più piede e importanza la Life Cycle Assessment (LCA), che è stata definita[69] come "*il processo per identificare i carichi ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando energia e materiali utilizzati ed emissioni rilasciate nell'ambiente per valutarne l'impatto, per identificare e valutare le opportunità di miglioramento*". La valutazione LCA di un prodotto prende in esame tutto il suo ciclo di vita, passando dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, la fabbricazione del prodotto, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo, il riuso, lo stoccaggio, il riciclaggio, fino alla dismissione del prodotto.
L'analisi LCA prende piede in ambito industriale alla fine degli anni '70, sviluppandosi sempre di più nel corso del tempo, soprattutto durante gli anni '90. La sua struttura metodologica e le sue procedure di applicazione, sono state standardizzate a livello internazionale, tanto che la LCA ha iniziato ad essere utilizzata per individuare i criteri ecologici di tutti quei prodotti che vogliono ottenere l'etichettatura ecologica Ecolabel.
Il principio alla base di tutto il processo LCA è quello di cercare di ridurre, quanto più possibile, tutti gli impatti negativi, massimizzare il riciclaggio e selezionare quei materiali che presentano un ridotto impatto ambientale. Sembra quasi affiancarsi al principio dell'ecologia, ovvero, "*massimizzare la diversità, diminuendo l'uso delle risorse*".
La metodologia della LCA può essere applicata anche alla progettazione di un edificio, perché viene intesa come guida delle azioni dell'uomo per portarle in linea con le dinamiche naturali. Il processo di analisi LCA mira, quindi, alla riduzione globale di risorse, materiali, emissioni e rifiuti. Per far ciò, mette in mostra gli impatti connessi, facendo un paragone tra quella che è la vita utile di un bene e l'importanza di un prolungamento della vita utile degli edifici. Aiuta inoltre, a identificare i costi di produzione dei materiali, i costi d'uso e i costi di dismissione. Tutto questo ha lo scopo di spingere i progettisti a utilizzare materiali meno dannosi per l'ambiente, a cercare materie prime e fonti di energia alternative ed a modificare il processo di produzione degli edifici, incoraggia la sostituzione dei prodotti dannosi, la riduzione dei rischi per la salute dell'uomo, progettazioni che favoriscano il riuso dei prodotti, il riciclaggio di alcuni materiali ed energia dai rifiuti.
La Life Cycle Assessment non deve essere considerata solamente come uno strumento di verifica dell'impatto ambientale, ma può anche essere inteso come strumento che consente di verificare l'efficacia ecologica di differenti scelte progettuali e, di conseguenza viene applicata alla fase preli-

69 La prima definizione dell'LCA è stata emanata dal SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry)

minare di progettazione e impostazione del progetto.
La valutazione, per essere attendibile, dovrà suddividere l'edificio in parti costruttive e valutare ognuna di esse in ogni fase del ciclo di vita, partendo dall'estrazione delle materie prime, gli inputs energetici, manifattura del prodotto, costruzione, uso, conseguente manutenzione, riuso, riciclo e rifiuti.
Durante la fase di analisi, viene messo in evidenza che ogni fase del ciclo di vita analizzata, avrà un impatto ambientale differente dalle altre non ci sarà mai una fase priva di impatti ambientali e di uso di energia. Però, a discapito di quanto possa sembra, il processo LCA non è così semplice da attuare in campo dell'edilizia, perché segue dei processi diversi e più complessi rispetto a quelli dell'industria a cui normalmente viene applicato.
Uno dei primi fattori che limita notevolmente l'applicazione della procedura di LCA è sicuramente la quantità di operatori interessati al ciclo dell'edificio e la loro diversità. Gli operatori sono indicati come progettisti, imprese di costruzione, fruitori, imprese di demolizione, imprese di smaltimento, ognuna delle quali presenta delle modalità operative differenti, non omogenee, variabili in funzione della dimensione, dell'attività e della localizzazione geografica. Un secondo fattore di difficoltà è il reperimento dei dati, perché riferendoci ad un edificio, la verifica è complessiva e studia tutti i componenti che interagiscono tra di loro assumendo in questo caso comportamenti complessivi diversi da quelli che vengono attribuiti singolarmente. Inoltre non si riesce a tirare fuori i benefici economici dovuti ai costi di esecuzione, in relazione all'importo complessivo, soprattutto quando in esame si trova un edificio di piccole dimensioni.
Nonostante ciò, si è cercato di superare l'ostacolo, quindi, piuttosto che applicare delle procedure troppo rigide che avrebbero ridotto notevolmente l'ambito di applicazione, si è deciso di intervenire sulle singoli componenti edilizie, che trova un campo di più facile applicazione. Questo porta ad una notevole riduzione delle variabili considerate, in quanto si rifanno solamente al singolo elemento e non al contesto intero dell'edificio, e quindi si riducono fortemente i dati da analizzare.
A seguito di numerosi studi sull' analisi LCA, si è giunti alla conclusione che, per quanto il processo di analisi LCA sia un processo complesso e molto lungo, è necessario trovare delle soluzioni che la possano rendere un processo semplificato e di facile applicazione per il processo edilizio.



## 4.3 Teoria dell'analisi LCA




Life cycle assessment framework_phases of an LCA (ISO, 1997a)

Lo  sviluppo dell'analisi LCA è strettamente legato alla normativa ISO 14040, che permette di identificare, durante lo studio, quattro fondamentali step che sono tra di loro distinti, ma allo stesso tempo consecutivi. Le fasi  vengono identificate come:

1. Definizione degli scopi e degli obiettivi;
2. Analisi degli inventari (LCI), tenendo in considerazione i dati relativi l'energia utilizzata, l'uso delle risorse, l'impatto ambientale che le emissioni hanno sull'ambiente durante il processo di realizzazione di un prodotto;
3. Valutazione degli impatti ambientali, Life Cycle Impact Assessment (LCIA), legati all'uso di risorse e alle emissioni nell'ambiente;
4. Interpretazione dei risultati avente scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale, rimanendo perfettamente in linea con gli obiettivi e gli scopi stabiliti nella fase iniziale.

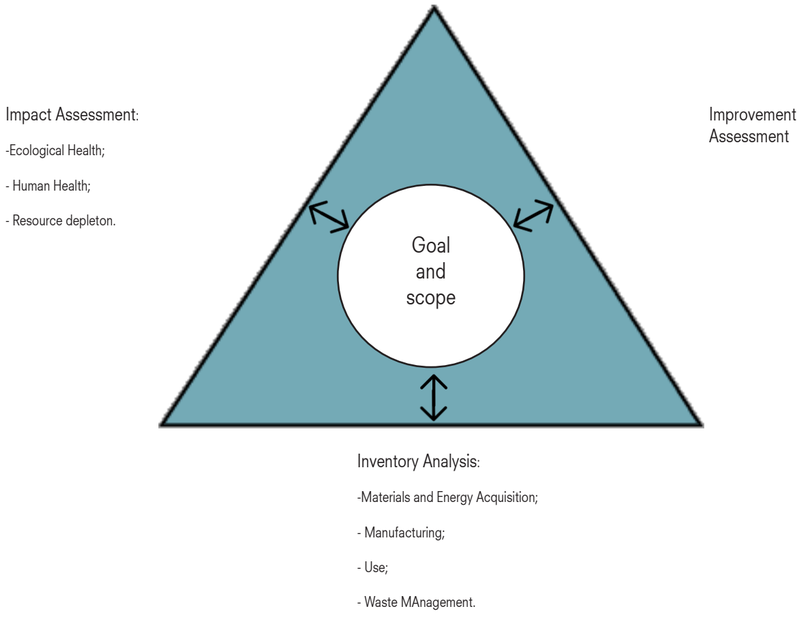
I principi, le procedure e i metodi di un'analisi LCA, si basano sulla metodologia e la struttura delle ISO (sistemi di gestione ambientale):

- FDIS/ISO 14040: Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e struttura ISO (1997a);
- DIS/ISO 14041.2: Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Definizione degli obiettivi e degli scopi e analisi di inventario. ISO (1997b);
- CD/ISO 14042.1: Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Valutazione degli impatti nel ciclo di vita. ISO (1997c);
- CD/ISO 14043.1B: Gestione ambientale – Valutazione del liclo di vita – Interpretazione dei risultati. ISO (1997d)[70].

Nel processo di studio e analisi degli impatti ambientali non esiste una sola strada da percorrere: una delle tipologie utilizzate è sicuramente l'analisi LCA che è caratterizzata da una serie di processi più o meno sofisticati. Alla base dello studio, ci sono dei requisiti che devono essere rispettati, indipendentemente dal tipo di analisi utilizzata. Essi si identificano nella chiara ed esplicita dichiarazione dello scopo e dell'obiettivo dell'analisi, e variano in base alla metodologia impiegata[71]. Questi requisiti sono fondamentali per la trasparenza dell'analisi che si sta sviluppando e la facile interpretazione dei dati da parte dei lettori esterni.

70 Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources, Europian Environment Agency
71 In base alla metodologia vengono scelti anche l'unità funzionale, i confini del sistema e i criteri di assegnazione.






Technical framework for life cycle assessment (Consoli et al. , 1993)

**Prima fase: Definizione degli obiettivi e degli scopi.**
La prima fase di analisi dello studio LCA riguarda la scelta degli obiettivi e degli scopi. Oltre a questi, si stabiliscono anche l'unità funzionale, i confine del sistema, la qualità delle informazioni, processi critici di revisione. La definizione degli obiettivi e degli scopi rappresenta la parte più critica per lo sviluppo dell' LCA, poiché esercita una grande influenza sui risultati onnenuti nella fase conclusiva dell' analisi dove verrà anche dimostrato se gli obiettivi e gli scopi inizialmente stabiliti sono stati soddisfatti.

- ***L'obiettivo***. L'obiettivo dell'analisi deve essere espresso in maniera chiara e supportato dalle motivazioni che hanno condotto allo sviluppo dell' analisi. Inoltre è necessario specificare i destinatari verso cui è rivolto lo studio e chi ha la possibilità di consultare i risultati una volta resi pubblici. Ai fini dell' attendibilità dello studio, è importante specificare la natura di provenienza dei dati reperiti ed impiegati in fase di analisi.
  In questo step, risulta fondamentale il ruolo del professionista che ha il compito di capire nel dettaglio lo scopo e far si che le scelte fatte corrispondano al raggiungimento dell' obiettivo stabilito.
  Ci sono diverse tipologie di analisi LCA che variano in base al grado di sofistichezza che si vuole raggiungere e ai requisiti da riportare.
  La trasparenza è fondamentale per tutte le tipologie di LCA perché permette di sviluppare uno studio chiaro e, allo stesso tempo, di non dimenticare le scelte che vengono prese in fase di analisi. Si possono, quindi, definire gli obiettivi come il risultato conclusivo dello studio.
- ***Lo scopo***. Definire uno scopo all'interno di un analisi LCA da la possibilità di determinare i confini entro cui condurre la valutazione, specificando tutto ciò che è compreso nel sistema e le più adatte metodologie di valutazione che verranno impiegate. In questa fase vengono presi in considerazioni numerosi aspetti che influiscono sulla qualità dello studio fra cui: le funzioni di uno o più sistemi; l'unità funzionale; il sistema che verrà studiato; i confini del sistema; le procedure adottate; le tipologie di impatto, le metodologie di valutazione degli impatti e le successive interpretazioni dei dati; necessità di informazioni; presupposti; limitazioni; necessario utilizzo di dati iniziali di qualità; se ci sono, revisioni critiche; la tipologia e il format richiesti per l'analisi. La larghezza, la profondità e il dettaglio dell' LCA, devono essere perfettamente in linea con gli obiettivi affinché l'analisi possa risultare veritiera.
- ***L'unità funzionale***. L'unità funzionale rappresenta il parametro di confronto fra due o più prodotti. Essa è strettamente legata agli obiettivi da raggiungere, deve essere scelta in modo arbitrario e inoltre deve essere chiaramente definita e misurabile.



Il suo scopo è quello di fornire un sistema di riferimento rispetto al quale riferire tutti i flussi di ingresso ed uscita dal sistema. In tale contesto si parla anche di flusso di riferimento che rappresenta la quantità di prodotto necessaria a soddisfare la funzione scelta.

- ***Confini del sistema***. I confini del sistema danno la possibilità di definire i processi e le operazioni, gli input e gli output[72] che si trovano all'interno di un analisi LCA, come per esempio la manifattura, il trasporto, il processo di gestione dei rifiuti, ecc. Il richiedente può definire, in base alle sue necessità, quali processi tenere in considerazione, in relazione all' obiettivo dell' analisi. La definizione dei confini del sistema risulta essere un operazione che tiene conto dei confini geografici, tecnologici e temporali. Alla base di tutto, ci sono due aspetti fondamentali per la scelta di tali confini, ovvero la trasparenza nella definizione del processo e i presupposti. Idealmente, i sistemi di produzione dovrebbero essere modellati in modo tale che gli input e gli output presentino un flusso elementare come confine, e le decisioni dovrebbero essere definite in base all'unità di processo e il livello di dettaglio che si vuole portare avanti[73]. Tuttavia, accade che non c'è mai sufficiente tempo, informazioni o risorse per portare a termine uno studio complessivo. Anche in questo caso, le regole che riguardano la scelta degli input e degli output e devono essere di facile comprensione e descrizione. Inoltre, ogni omissione delle fasi del ciclo di vita, processi o informazioni, deve essere riportata e giustificata. Il criterio finale usato per l'impostazione dei confini del sistema stabilisce che i risultati dello studio non debbano compromettere l'accordo di confidenza e che gli obiettivi che sono stati precedentemente decisi stiano sulla stessa linea[74].
- ***Qualità delle informazioni***. La qualità delle informazioni usate nella fase di inventario del ciclo di vita si riflette su quella dei risultati finali dell'analisi LCA. Reperire delle buone informazioni permette di descrivere e valutare in modi differenti e sistematici, dando allo stesso tempo la possibilità a chiunque legga i dati raccolti, di capire e controllare l'efficienza di questi ultimi. La qualità dei dati deve essere stabilita secondo determinati parametri:
  1. *Arco di tempo*: gli anni necessari (per esempio 5 anni) e la durata minima di tempo entro il quale condurre lo studio (per esempio un anno);
  2. *Copertura geografica*: l'area geografica dalla quale vengono raccolte le informazioni deve essere strettamente collegata agli obiettivi stabiliti che possono essere locali, regionali, nazionali, continentali, globali;
  3. *Copertura tecnologica*: dipende dalla natura delle diverse tecnologe impiegate[75].

72 Si identificano con gli input e gli output i processi di produzione oppure i singoli processi che verranno sviluppati
73 Cristian Colombo, Ottavio Ruggieri; *"Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a di calce-canapulo"*; Tesi discussa presso Politecnico di Milano; Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territorio, Corso di Laurea di 2° Livello in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio; A.A 2011-2012.
74 Il trattamento delle acque reflue è un esempio di processo che spesso viene omesso quando si definiscono i confini del sistema.
75 Per esempio la media ponderata dell'attuale mix del processo, migliore tecnologia sviluppata o peggiore unità operativa

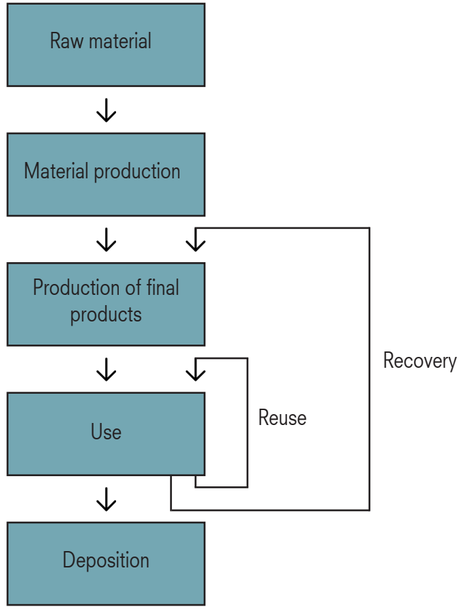
Assumono molta importanza anche i dati che fanno riferimento a siti che presentano rilevanti quantitativi di flussi in entrata ed impiegano molta energia all' interno del sistema studiato. Tali informazioni devono essere opportunamente studiate e calcolate se si tratta di dati provenienti da fonti pubblicate. Inoltre, si ritiene opportuno condurre verifiche e controlli di tali siti per monitorare la situazione dal punto di vista ambientale.
Gli indicatori di qualità dei dati devono essere presi in considerazione indipendentemente dagli obiettivi e dagli scopi precedentemente definiti. Questi parametri sono:

1. *Precisione*: misura la variabilità dei valori per ogni sottocategoria espressa;
2. *Completezza*: la percentuale che indentifica il peso di un dato primario dal valore totale, all' interno di categorie che appergono ad un processo;
3. *Rappresentatività*: valutazione qualitativa del grado in cui sono espressi i dati, che riflettono la cerchia di persone interessate (copertura geografica, temporale e tecnologica);
4. *Consistenza*: valutazione qualitativa di come la metodologia di studio è applicata uniformemente ai vari componenti dell'analisi;
5. *Riproducibilità*: valutazione qualitativa dell'estensione, dove le informazioni circa la metodologia e i valori dei dati permettono un calcolo indipendente, in grado di riprodurre i risultati proposti nello studio.

Nel caso in cui lo studio è a supporto di una comparazione tra prodotti che verrà rivelata al pubblico, deve essere inclusa la menzione degli indicatori di qualità.

- ***Processo di revisione critica***. Durante un'analisi LCA ancora molto spesso, non risulta ben chiaro che cosa realmente si debba certificare tra lo studio, il singolo professionista o la società di cui fa parte. L'obiettivo del processo di revisione è quella di misurare la qualità della valutazione del ciclo di vita. Tale verifica potrà essere completamente interna, esterna o svilupparsi in varie fasi definite tramite gli obiettivi e gli scopi stabiliti nella fase iniziale dell'analisi. Il processo di revisione critica dovrà controllare che: i metodi usati per effettuare l'LCA sono in linea con gli standard internazionali; che siano scientificamente e tecnologicamente validi; le informazioni usate risultano essere appropriate e in relazione con gli obiettivi dello studio; l'interpretazione riprende le limitazioni e gli obiettivi stabiliti nell'analisi; lo studio LCA sia trasparente e consistente. Nel momento in cui si decide che lo studio LCA deve essere sottoposto ad una revisione critica, deve essere specificato, in fase di definizione degli obiettivi e degli scopi. Inoltre, dovranno essere riportate tutte le indicazioni circa la revisione critica, la zona da ricoprire, il livello di dettaglio e per chi è necessario che venga portato avanti questo processo. Lo schema che segue è un esempio  di flusso semplice sviluppato a supporto della raccolta dei dati.






Example of a simple flow sheet to be used as support in the data collection.

**Seconda fase: Analisi di inventario**

L'analisi di inventario corrisponde alla seconda fase dello studio LCA e tiene conto del reperimento dati, del perfezionamento dei confini del sistema, delle procedure di calcolo, della validità dei dati, della comprensione dei dati usati nel sistema e della distribuzione.

Ciascuna delle differenti fasi che vengono identificate durante l'analisi potranno essere divise per singoli processi (come per esempio la tipologia delle materie prime che vengono combinate nella fase di produzioni materiali, oppure dalla tipologia di trasporto o il riuso che, però, ha spesso come conseguenza l'aggiunta di un processo di pulizia). Per facilitare lo sviluppo della fase di inventario è consigliata la stesura di un diagramma per essere sicuri di includere tutte le fasi rilevanti del processo. Il diagramma ha anche come scopo quello di documentare tutte le fasi del processo di analisi con l'obiettivo di ottenere una maggiore trasparenza dello studio in corso.

- ***Reperimento dati***. L'analisi di inventario include la raccolta e il trattamento dei dati che vengono usati, partendo dal consumo dei materiali, passando per i rifiuti prodotti e dal profilo delle emissioni che caratterizzano sia le fasi del ciclo di vita, ma anche dell'intero ciclo di vita. I dati possono derivare da specifiche compagnie, aree o paesi, ma possono anche risultare dati generici (provenienti da fonti generiche, sondaggi pubblici, ecc.), ma tutti i dati raccolti devono fare riferimento ad una fase di studio e devono essere di tipo qualitativo e quantitativo. La quantità delle informazioni, sebbene alle volte manchi o sia minima, è un fattore che risulta importante nel momento del confronto con altri processi o materiali. La qualità, invece, viene principlamente utilizzata per gli aspetti ambientali o singoli steps, dove è difficile raggiungere un livello di quantità o avere la quantificazione degli scopi e degli obiettivi.
  L'analisi di inventario è caratterizzata soprattutto dalla raccolta dei dati e dalle procedure di calcolo ad essi connessi per cercare di quantificare, il più possibile, gli input e gli output del sistema, includendo l'uso di risorse tra cui aria, acqua e terra. Questi dati raccolti, indipendentemente dagli obiettivi e scopi prima definiti, si identificano come i flussi in entrata della valutazione del ciclo di vita.
  Il processo per lo sviluppo di un analisi di inventario è di tipo interattivo. Infatti, così come avviene con i dati già raccolti, quelli nuovi, o le limitazioni, devono essere chiaramente espressi così da richiedere, se necessario, una modifica dei dati esistenti per risultare perfettamente in linea con gli obiettivi stabiliti. I dati quantitativi e qualitativi devono essere raggruppati in base all'unità di processo inclusi all'interno dei confini del sistema e dipendono direttamente dallo scopo dell'analisi, dall'unità di processo o dall'applicazione dell'analisi stessa. I vincoli legati alla raccolta delle informazioni devono essere espressi in fase di identificazione degli scopi e documentati nei report finali.



  Il reperimento dei dati risulta essere la parte più intensiva di tutta la valutazione LCA, specialmente quando è necessario delineare nello specifico i processi del ciclo di vita di un prodotto che richiedono informazioni precise ai fini di un analisi attendibile. In molti casi l'approvvigionamento dei dati avviene grazie alla letteratura (spesso consultando prodotti o materiali che risultano uguali ai nostri o simili) oppure reperiti dagli stessi produttori. Esiste già, a livello europeo, una pubblicazione, da parte degli stessi produttori, di informazioni relative al processo che va "dalla culla al cancello", ovvero dalla semi manifattura al prodotto finale, sfruttando tutte le informazioni legate agli input e output dei materiali. I dati medi raccolti possono essere concettuali o semplificati per dare una prima impressione del potenziale degli input e output dalla produzione di specifici materiali, però allo stesso tempo non sono in grado di soddisfare le richieste di dati relative ad un analisi specifica, in quanto non sono tra i più aggiornati soprattutto dal punto di vista dello sviluppo tecnologico.
  I risultati della raccolta dati possono essere espressi in una tabella di inventario.
- ***Perfezionamento dei confini del sistema***. I confini del sistema come già anticipato, sono definiti come una parte delle procedure di definizione degli scopi. Dopo la prima fase di raccolta dei dati, i confini del sistema possono essere ridefiniti per cercare di avvicinarsi sempre di più agli scopi stabiliti in fase iniziale, attraverso le decisioni, le esclusioni, gli steps del ciclo di vita, oppure le esclusioni dei flussi dei materiali o l'inserimento di nuove unità di processo che risultano importanti in relazione alla sensibilità dell'analisi. L'analisi sensitiva durante il perfezionamento dei confini, permette di includere al suo interno aspetti poco rilevanti allo studio come: l'esclusione di alcune fasi del ciclo di vita quando sono prive di significato; l'esclusione dei flussi di materia poco significativi nei risultati dello studio; l'inserimento di nuovi processi di unità. I risultati di questo processo e dell'analisi sensitiva, potranno a loro volta essere documentati. Tutto ciò serve a limitare il trattamento dei dati di input e output con una maggiore rilevanza per gli obiettivi dell'analisi LCA.
- ***Procedure di calcolo***. Non esistono delle tipologie standard di calcolo da adottare per lo sviluppo dello studio del ciclo di vita, ma viene richiesta la descrizione della procedura seguita. La scelta più appropriata per la tipologia di calcolo da eseguire dipende dal tipo e alla quantità di informazioni da gestire.
- ***Validità dei dati***. La validità delle infotazioni utili all' analisi, può essere condotta contemporaneamente alla fase di raccolta dei dati così da poter migliorare, allo stesso tempo, la qualità degli stessi. Durante questa fase può emergere la necessità di trovare dati più precisi o prendere quelli appartenenti a processi simili. Rimane sempre importante effettuare controlli sull'attendibilità delle informazioni a cui ci si affida nel momento stesso in cui questi vengono reperiti.

La validità dovrebbe interessare la quantità, l'energia e analisi comparative di fattori di impatto. È possibile che si presentino delle anomalie durante la fase di validità dei dati, ma l'importante è che questi rispettino i requisiti di qualità stabiliti. Nei casi in cui non è possibile reperire dati, il risultato dello studio potrebbe essere identificato in tre modi differenti: accettabile valore dei dati; zero valore dei dati, se giustificati; il valore calcolato alla base partendo da unità di processo sviluppate con simili tecnologie.
Di solito, le informazioni ottenute da processi simili o da unità di processo, presentano una bassa qualità.

- ***Comprensione dei dati usati nel sistema***. I principali input e output sono espressi con unità di misura arbitrarie[76]. Per ciascun processo analizzato, viene determinato un quantitativo appropriato, come, per esempio, un chilogrammo di materiale o un megajoule di energia. Di conseguenza gli input e output dovranno essere calcolati in relazione all'unità di misura.
- ***Distribuzione e riciclo***. Quando si inizia a dar vita alla valutazione del ciclo di vita di un sistema complesso, non è possibile gestire tutti gli impatti e tutti gli output che si trovano all'interno dei confini del sistema, perciò è possibile muoversi in due direzioni:

- Estendere i confini del modello comprendendo tutti gli input e gli output, incorrendo, tuttavia, nel rischio di confrontarsi con un sistema eccessivamente complesso tanto che la raccolta dei dati, la valutazione degli impatti e l'interpretazione potrebbero diventare troppo costose e irrealistiche sia in termini di tempo che denaro;
- Distribuire gli impatti ambientali più rilevanti dentro lo studio del sistema stesso, che risulta essere la soluzione migliore da adottare.

**Terza fase: Valutazione degli impatti**

La valutazione degli impatti corrisponde alla terza fase nel processo di valutazione del ciclo di vita di un prodotto, e, a sua volta, è suddivisa in quattro sottocategorie: la definizione delle categorie, la classificazione, la caratterizzazione, la valutazione o attribuzione del peso.
La suddivisione delle quattro fasi risulta essere fondamentale perché: ogni elemento considerato rappresenta una specifica procedura; non è necessario utilizzare sempre tutti gli elementi per tutti i casi; i metodi, le ipotesi e le scelte devono essere il più possibile trasparenti, documentati, visionati e dimostrati.
Le informazioni ottenute dall' analisi di inventiario sono di fondamentale importanza perché rapprentano la base di partenza per le valutazioni ambientali[77]. In questa fase vengono valutati gli impatti

76 Un esempio potrebbe essere il consumo di energia espresso in MJ, ecc
77 Cristian Colombo, Ottavio Ruggieri; *"Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a di calce-canapulo"*; Tesi discussa presso Politecnico di Milano; Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territorio, Corso di Laurea di 2° Livello in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio; A.A 2011-2012.



ambientali potenziali e l'entità delle alterazioni sull'ambiente provocate dal consumo di risorse e dalle emissioni, calcolate durante la fase di inventario.
Lo studio degli impatti prevede un'accurata verifica degli obiettivi e degli scopi stabiliti precedentemente in base ai quali, è possibile decidere se utilizzare tutti, oppure, soltanto alcuni degli elementi.

- ***Definizione della categoria***. La valutazione degli impatti affronta come primo punto la definizione delle categorie, che vengono sviluppate in fase di attribuzione degli scopi, degli obiettivi, nella fase di inventario e nella definizione dei confini del sistema. Le categorie di impatto considerate descrivono gli impatti ambientali causati dai prodotti o dai sistemi presi in esame. Queste, devono essere scelte coerentemente agli scopi ed obiettivi prefissati, in quanto permettono di raggiungere un alto livello di completezza dello studio.
- ***La classificazione***. Questa fase si riferisce alla classificazione dei dati di input e output raccolti nella fase di inventario, assegnando ad essi le categorie di impatto prese in considerazione. Il compito della fase di inventario dei dati risulta essere la più semplice di tutta la valutazione degli impatti. Questa può essere usata per identificare e segnalare problemi associati ai dati in input e output. In tale stadio c'è un implicita assunzione di "meno è meglio" e si escludono diverse considerazioni importanti come per esempio la potenza o le persistenze ambintali. Alla base della classificazione, si trovano delle analisi scientifiche relative a processi ambientali che permettono di attribuire ai rispettivi input e output le appropriate categorie di impatto. Queste vengono suddivise in tre gruppi: impatto globale, impatto regionale e impatto locale e sono legate all'esposizione, ovvero l'esposizione globale è direttamente legata all'impatto ambientale e così per tutte le altre.
- ***La caratterizzazione***. La caratterizzazione persegue lo scopo di cacolare gli indicatori di impatto in relazione ai dati di input e output. Essi vengono convertiti in una sola grandezza attraverso dei fattori di caratterizzazione, la quale può essere sommata su tutti i flussi. Come risultato si ottiene un numero che quantifica l'impatto preso in considerazione e tiene in considerazione tre impatti principali: il global warming (GWP), lo strato di ozono e gli effetti eco-tossicologici.
- ***Valutazione o attribuzione del peso***. La pesatura si identifica come una procedura sia qualitativa che quantitativa, in cui l'importanza di una categoria di impatto viene confrontata con le altre. I pesi relativi delle differenti categorie di impatto prendono il nome di "fattori di pesatura". Lo scopo di questa operazione è quello di giungere ad un risultato finale rappresentato da un unico indice, che definisca l'impatto globale esercitato dall'attività in esame[78].
Per la creazione dei fattori di pesatura si fa riferimento alle scienze sociali ma, poiché presen-

78 Cristian Colombo, Ottavio Ruggieri; *"Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a di calce-canapulo"*; Tesi discussa presso Politecnico di Milano; Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territorio, Corso di Laurea di 2° Livello in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio; A.A 2011-2012.

tano un certo livello di soggettività, non sono completamente attendibili.
I risultati degli indicatori di categoria, eventualmenete normalizzati, vengono convertiti in valori pesati grazie all' utilizzo di fattori numerici che traducono il peso relativo attribuito dall' analisi a tale categoria di impatto.
Si individuano cinque principali tipologie di approccio per assegnare i pesi alle diverse categorie: approccio mandatario; approccio tecnologico; monetizzazione; distanza dall' obiettivo; valutazione di esperti.
Tipicamente la logica alla base del processo di pesatura prevede come primo step la normalizzazione dei risultati per garantire l'omogeneità dei dati, poi, raggruppare le categorie di impatto in macro-categorie e, infine, pesarle.

**Quarta fase: interpretazione**

La fase di interpretazione dell'analisi LCA è il momento in cui si legano i risultati dell'analisi di inventario e quelli degli impatti ambientali. Qui si ritrovano tre principali fasi operative: identificazione di valori ambientali significativi; valutazione; conclusioni e raccomandazioni. L'obiettivo perseguito nella fase di interpretazione è quello di dare credibilità all' analisi LCA e fornire utili raccomandazioni in conformità con lo scopo e gli obiettivi dello studio. In questo step, risulta di fondamentale importanza una chiara, comprensibile, completa e consistente presentazione dei risultati delle fasi precedenti, per fornire indicazioni utili al fine di migliorare il sistema oggetto di studio.

- ***Identificazione di valori ambientali significativi***. Questa prima fase si basa sullo strutturare informazioni raccolte nella fase di inventario e in generale in tutto il ciclo di vita, in modo da essere in linea con gli obiettivi e la definizione degli scopi. In quest'ultima fase si tiene conto delle scelte metodologiche fatte, della valutazione del metodo usato, il ruolo o la responsabilità delle singole parti interessate. Tenendo conto delle complessità di un analisi LCA, gli impatti ambientali a cui si fa riferimento alla fine di un processo di studio sono la $CO_2$, $NO_x$, $SO_2$, più precisamente identificate come Global Warming Potential (GWP), strato di ozono e impatti eco-tossicologico e tossicologico.
- ***Valutazione***. Questa seconda fase, si divide a sua volta in altri tre aspetti importanti: il primo riguarda l'analisi qualitativa dei dati selezionati; il secondo, è quello di caricare un analisi quantitativa e qualitativa dei dati di input; l'ultimo riguarda la discussione sulla variazione della struttura degli obiettivi e degli scopi. L'obiettivo di questa fase di valutazione è quello attribuire un valore confidenziale ai risultati ottenuti e presentarli in modo chiaro e comprensibile per ottenere una facile visione del lavoro svolto.



L'interpretazione dei dati sviluppata in questa fase, è resa più forte dai fatti e dai calcoli divisi in tre fasi principali:

↓ Completeness check

L'obiettivo di questa primo elemento è per assicurarsi che i principali aspetti ambientali precedentemente identificati siano chiaramente espressi nelle varie fasi dell'analisi LCA, senza perdere di vista gli scopi e gli obiettivi dell'analisi.

↓ Sensitivity check

In questa seconda fase l'obiettivo è quello di rivedere i risultati dell'analisi sensitiva e inoltre valutare se i significativi impatti ambientali sono in grado di sostenere le variazioni degli obiettivi e degli scopi dell'analisi. Dobbiamo anche considerare che per portare avanti un analisi sensitiva è richiesta la stabilità dei parametri utiizzati.

↓ Consistency check

L'obiettivo di questa terza fase è quello di valutare le fasi attraverso i metodi adottati, le procedure e il trattamento dei dati che vengono analizzati durante lo studio. Questa procedura è principalmente utilizzata per la comparazione di casi studio. I temi principali sono: differenze regionali o temporali, confini del sistema, metodo di locazione, differenza tra processi in primo e secondo piano, metodi di valutazione e attribuzione del peso.

↓ ↓ ↓

che a loro volta vengono integrati con i risultati di:

Uncertainty analysis

Data quality assessment

- ***Conclusioni e raccomandazioni***. L'ultima fase del processo di interpretazione dell'analisi LCA si presenta molto simile a qualsiasi tipo di valutazione scientifica, tecnologica o di investigazione. L'obiettivo principale risulta fornire le conclusioni e le raccomandazioni dell' analisi svolta o, semplicemente, svolgere uno studio di inventiario del ciclo di vita di determitai prodotti o sistemi.
  Questo ultimo step è importante in quanto è quello che deve garantire la trasparenza di tutta l'analisi. I risultati delle revisioni critiche ottenuti durante l'analisi devono, inoltre, essere contenuti all'interno della fase di conclusione e raccomandazione.

## 4.4 Strumenti di certificazione ambientale dei prodotti: Etichettatura I,II,III; EPD

Gli impatti ambientali, legati alla realizzazione dei prodotti per l'edilizia, risultano essere delle informazioni difficili da trovare, quasi sempre impossibili da decifrare nelle schede tecniche dei produttori che avrebbero il compito di fornire e rendere reperibili queste informazioni. Tutto ciò comporta un difficile controllo dei parametri di eco-efficienza. In un'ottica di informazione, e volontà di rendere i consumatori più informati sulle scelte da portare avanti, si è deciso di sviluppare degli strumenti volontari di comunicazione ambientale definiti: *etichettature ecologiche*.

UNI EN ISO 14020:2002 _Etichette e dichiarazioni ambientali_Principi generali

UNI EN ISO 14024:2001 _Etichettatura ambientale di Tipo I_Principi e Procedure

UNI EN ISO 14021:2002 _Etichettatura ambientale di Tipo II_Asserzioni ambientali auto dichiarate

UNI EN ISO 14025:2010 _Etichettatura ambientale di Tipo III_Principi e procedure

La marcatura, che viene assegnata da queste certificazioni rappresenta una forma di garanzia sulla qualità ambientale del prodotto, utile per la domanda e l'offerta del consumatore. Le informazioni rendono le scelte sostenibili e in grado di ridurre l'impatto ambientale. Gli strumenti di etichettatura ecologica stimolano il mercato, consentendo la visibilità e la promozione dei prodotti eco-sostenibili e generano una concorrenza tra le aziende produttrici della stessa tipologia di prodotti, senza creare conflittualità, ma informando i clienti, agevolando scelte consapevoli in base agli impatti ambientali di un prodotto e allo stesso tempo sollecitando un processo di miglioramento ambientale continuo guidato dal mercato stesso. A questo proposito sono state stilate delle UNI EN ISO 14020:2002 che stabiliscono le linee guida e i principi relativi alle procedure per lo sviluppo e l'applicazione di etichette dichiarazioni ambientali di natura volontaria, definendone tre tipologie differenti.



### 1. *UNI EN ISO 14024:2001 Etichettatura ambientale di Tipo I*

Sviluppato da Commissione Europea (Regolamento CE 66/2010)

Requisiti per il marchio: i criteri sono messi a punto in modo tale da permettere l'ottenimento del marchio Ecolabel per tutti i prodotti che abbiano raggiunto l'eccellenza ambientale e inoltre vengono revisionati e resi più restrittivi in caso di necessità, per cercare di ottenere sempre il miglioramento della qualità ambientale.

Criticità: non è una tipologia di etichettatura adatta per il settore edilizio.

L'etichettatura di Tipo I è un metodo di marcatura ambientale volontaria dei prodotti che certifica il ridotto impatto ambientale. Queste ultime vengono assegnate da organismi esterni, che siano pubblici o privati, indipendenti dal produttore. Si basano su degli indicatori che tengono conto di tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, fissano dei valori di soglia da rispettare, concludendosi con un verdetto finale del tipo si/no. L'etichettatura del prodotto considerato può dunque procedere se soddisfa tutti i requisiti minimi della checklist.
L'etichettatura di Tipo I può essere richiesta da qualunque impresa o azienda inviando domanda e documentazione al comitato preposto, che si avvale di organismi indipendenti per la verifica tecnica e le prove di laboratorio. In Italia, il marchio viene rilasciato dal comitato Ecolabel[79]. Il marchio Ecolabel è uno strumento di politica ambientale e industriale promosso dall'Unione Europea, che contraddistingue prodotti e servizi che, pur garantendo elevati standard prestazionali, sono caratterizzati da un ridotto impatto ambientale durante l'intero ciclo di vita. Possono fare richiesta del marchio Ecolabel UE tutti gli operatori (produttori, fabbricanti, importatori, fornitori di servizi, grossisti o dettaglianti) che vogliano distinguersi sul mercato per il loro impegno nei confronti dell'ambiente, inviando domanda e documentazione al Comitato per l'Ecolabel e l'Ecoaudit, che si avvale di organismi come l'ISPRA (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Ricerca Ambientale), per la verifica tecnica e le prove di laboratorio.
Alcune certificazioni si sono sviluppate negli anni perché richieste da Istituti privati[80] (centri di ricerca, università, associazioni) che definiscono automaticamente i criteri ambientali, le soglie e le procedure di certificazione. Un limite che è stato riscontrato è legato alle certificazioni ambientali degli edifici, l'eccessiva discrezionalità con cui ogni istituto definisce i propri criteri di qualità ambientale rendendo i diversi certificati tra loro difficilmente confrontabili.

79 E' una certificazione di tipo volontaria, disciplinato dal Regolamento CE n. 66/2010 ed è in vigore nei 28 paesi dell'Unione Europea e nei paesi appartenenti allo spazio Economico Europeo.
80 In questi casi è la credibilità dell'istituto che richiede la certificazione a garantire l'accettabilità del certificato.

## 2. *UNI EN ISO 14021:2002 Etichettatura ambientale di Tipo II - Asserzioni ambientali auto-dichiarate*

Sviluppato da Gary Anderson nel 1970

Obiettivo: Applicabile a tutti i prodotti e gli imballaggi riciclati o di materiale ricilato, se non è seguito da un valore espresso in percentuale è considerato come asserzione di riciclabilità di un prodotto, se è accompagnato dal valore espresso in percentuale, può essere integrato con informazioni sull'identificazione del materiale.

La Norma UNI 14021:2002 fa un quadro informativo su come predisporre un'asserzione ambientale auto-dichiarata da parte del produttore. Alcune delle etichettature prese in considerazione fanno riferimento soltanto a specifici aspetti, relativi alla natura o alla composizione del prodotto certificato. L'Etichettatura di Tipo II presenta dei benefici che favoriscono il prodotto a cui viene affissa. Tra questi abbiamo la prevenzione o riduzione di dichiarazioni abusive all'interno del mercato, aumentando in questo modo, la possibilità dei consumatori di fare scelte più informate e favorisce allo stesso tempo l'inserimento all'interno del mercato internazionale. Di contro però, riscontra delle criticità, legate alla generalità e nella affidabilità delle informazioni in essa contenute, a tal proposito alcune ditte produttrici, si avvalgono volontariamente di sistemi di etichettatura certificata, subordinata a controlli e verifiche da parte di organismi di certificazione indipendenti esterni, secondo specifici programmi e procedure di riferimento. Questi organismi, hanno il compito, sotto richiesta del produttore, di effettuare controlli periodici sul prodotto e sui processi produttivi, in modo tale da verificare che tutta la produzione oggetto di certificazione sia conforme nel tempo a quanto da lui dichiarato.



## 3. *UNI EN ISO 14025:2010 Dichiarazioni ambientali di Tipo III - Principi e procedure*

Sviluppato da Norme UNI EN ISO 14025:2010, ISO 21930:2007

Procedura: l'EPD insieme all'LCA è contenuta all'interno del PCR (Product Category Rules), documento che contiene i parametri comuni per ciascuna categoria di prodotto; inoltre il PCR deve essere sviluppato attraverso una consultazione aperta con i soggetti interessati prima dell'approvazione.

Criticità: sono pochissimi i prodotti per l'edilizia dotati di EPD.

L'etichettatura di Tipo III riconosciuta anche come l'EPD (Environmental Product Declaration) ha lo scopo principale di comunicare informazioni complete, verificabili, esatte e non ingannevoli riguardo gli aspetti ambientali dei prodotti da costruzione durante tutto il loro ciclo di vita. L'informazione e la certificazione, hanno il compito principale di stimolare i produttori a una concorrenza volta al miglioramento della qualità prestazionale e dell'eco-efficienza dei loro prodotti. L'obiettivo finale non è quello di confrontare i prodotti per individuare quello meno impattante, ma di stabilire le prestazioni ambientali come parte integrante dell'informazione tecnica di prodotto. La differenza tra l'etichettatura di Tipo III e le prime due, sta nel fatto che quest'ultima veicola informazioni oggettive sulle prestazioni ambientali offerte dal prodotto, fornendo dati confrontabili, sul profilo ambientale calcolato attraverso il metodo LCA. Risulta quindi particolarmente utile per i progettisti e costruttori nel momento in cui selezionano materiali e prodotti da impiegare nella realizzazione di un edificio, ne permette il loro confronto, favorisce una scelta dettata dal miglior rapporto tra riduzione dell'impatto ambientale a prezzo di mercato. A livello di sostenibilità nelle costruzioni, all'interno dell'ISO 14025:2010 è presente una norma specifica, la ISO 21930:2007, Sustainability in building constructions - Environmental Declaration of Building Products. Questa si presenta come uno Standard Internazionale che tratta, gli impatti e gli aspetti ambientali dei prodotti da costruzione è ha lo scopo di descrivere i principi, i requisiti e la struttura della dichiarazione ambientale di Tipo III dei prodotti da costruzione, al fine di dare uniformità dei mezzi, della modalità di garantire la trasparenza, la coerenza e la solidità scientifica della metodologia con cui si giunge alla dichiarazione ambientale.

# 5. I CASI STUDIO SOGGETTI ALLA SPERIMENTAZIONE

Oggi giorno siamo sempre più alla ricerca di strumenti e metodi che ci permettano, in qualche modo, di ridurre l'impatto ambientale, in particolare quello legato al settore edilizio. Si è sempre alla ricerca di tecnologie in grado di sfruttare al meglio le fonti rinnovabili che la natura ci mette a disposizione, piuttosto che, le ormai scarse, riserve non rinnovabili. In quest'ottica, il progetto di tesi in esame, si inserisce in un contesto di edilizia sperimentale, in grado di dar vita a costruzioni che possano soddisfare tutte le necessità richieste ad un edificio "green". L'obiettivo finale è, dunque, quello di avvalorare le teorie secondo il quale è possibile realizzare delle opere a basso impatto. Ciò è possibile anche grazie all'aiuto di Enti e Istituzioni, che decidono di collaborare tra di loro, mettendo a disposizione tutte le conoscenze necessarie per il raggiungimento di ottimi risultati.
La scelta è ricaduta su un edificio sperimentali e due di ricerca, ideati con la collaborazione del Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino, che nell'arco di un paio d'anni verranno realizzati, ognuno con una specifica funzionalità.
Nello specifico questi edifici sono:
– Il modulo di Cambiano;
– Il modulo PVZEN;
– Il modulo MAACC.

## 5.1 Modulo di Cambiano

Dalla convenzione tra il Politecnico di Torino, nello specifico, il Dipartimento di Architettura e Design, il Comune di Cambiano (TO) e l'associazione Off Grid Italia, sta prendendo forma, all'interno del comune di Cambiano, in un'area di 8100 $m^2$, un Parco Sperimentale, accessibile al pubblico, denominata "ReLand Planet – Parco Sperimentale". Il progetto, che verrà realizzato in un futuro ancora da definire, prevede la realizzazione di uno spazio caratterizzato da elementi ottenuti dalla riconversione di materiali esistenti, in quanto, uno degli obiettivi posti per il suo sviluppo, è la diffusione della sensibilizzazione della popolazione alla sostenibilità ambientale, attraverso giochi e sperimentazioni su temi incentrati sull'efficienza energetica, il riuso, il design sistemico e l'architettura del reimpiego. Tale area sarà messa a disposizione del DAD (Dipartimento di Architettura e Design) per sviluppare progetti di sperimentazione di prestazioni fisiche, ambientali, di benessere, energetiche, ecc., cercando di coinvolgere il più possibile:

- gli studenti di Architettura e Design, organizzando workshop e attività teorico-pratiche ;
- istituti scolastici di qualsiasi ordine e grado che si trovano all'interno del territorio in esame;
- enti pubblici e privati, per cercare di diffondere i concetti di economia circolare, resilienza e sviluppo sostenibile;
- la comunità di Cambiano, e non solo, grazie all'organizzazione di incontri circa l'educazione ambientale, la riduzione degli sprechi, l'uso razionale di energia, il riuso creativo, l'economia circolare, la resilienza urbana e la sostenibilità in tutte le sue varianti.

Tutto ciò sarà possibile anche grazie alla collaborazione di Associazioni e Organizzazioni, del settore ed esterni, senza scopo di lucro che agiscono sul territorio.
Lo sviluppo del parco avverrà secondo il format del Parco ReLand, ovvero grazie al lavoro di personale volontario che collabora, sia con l'associazione Off Grid sia con il DAD, in quanto le opere da costruire all'interno dell'area, non necessitano l'intervento di imprese qualificate per essere realizzate. Inoltre per la costruzione verranno impiegati materiali di recupero sia del territorio comunale che dell'area metropolitana torinese, tutto nel rispetto della legislazione in materia ambientale.
Per lo sviluppo dell'area non è prevista nessuna allocazione finanziaria diretta delle parti, solo l'Ente, che mette a disposizione l'area, si occuperà: degli oneri di realizzazione delle opere di allacciamento alle reti di pubblico servizio; della manutenzione delle aree adiacenti al confine del parco e della messa in sicurezza delle alberature. La convenzione stipulata tra le parti ha una durata di 15 anni, al suo scadere è necessario stipulare un'altra convenzione.

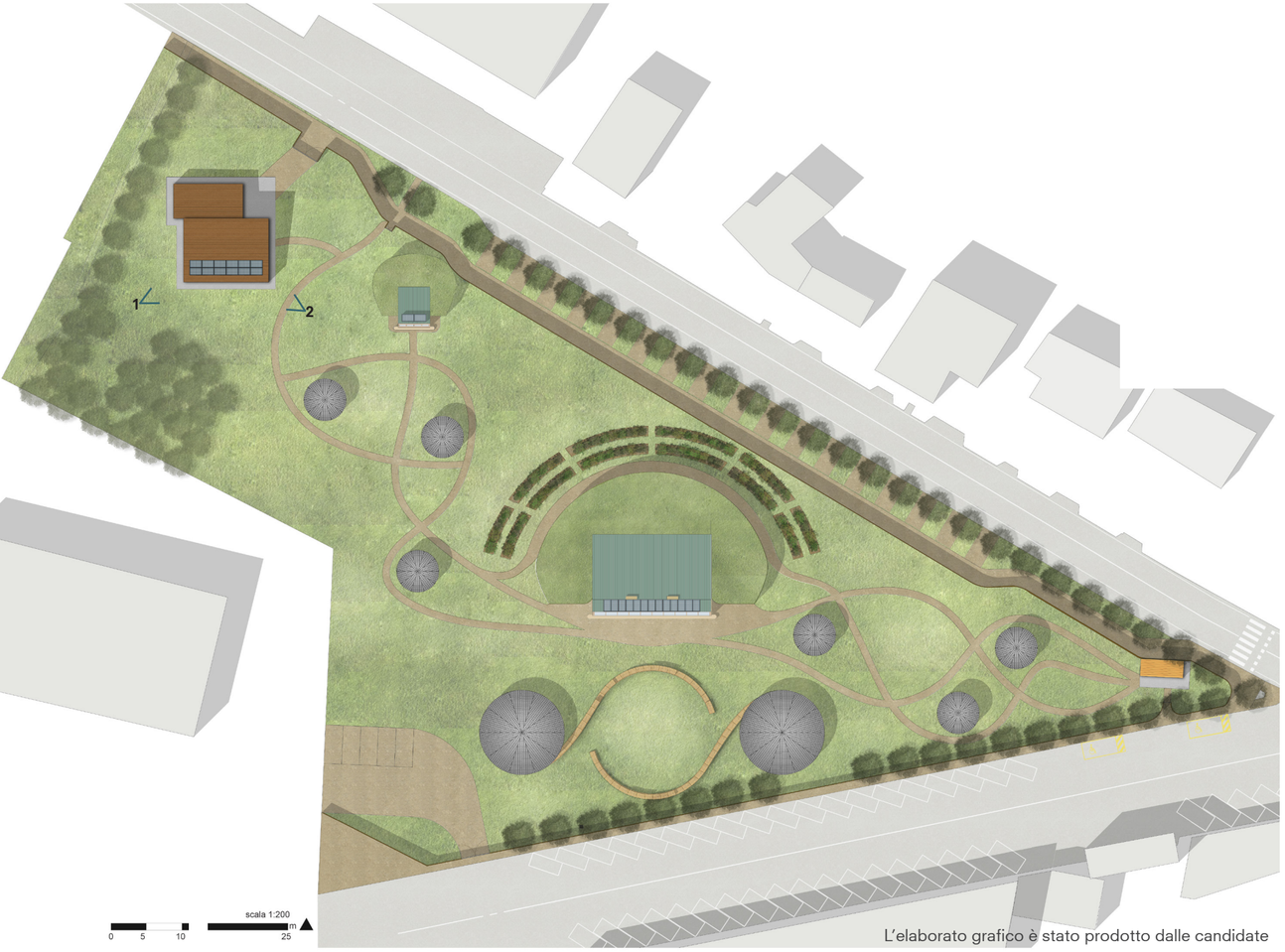


**Il progetto**

L'Eco Home è un modulo abitativo che verrà realizzato all'interno del parco ReLand, ed è parte di un'idea sviluppata all'interno del Master in Architettura delle Costruzioni. Questo modello abitativo, è stato pensato per cercare di ottenere elevati livelli di efficienza energetica e di sostenibilità ambientale attraverso l'utilizzo di soluzioni adatte a ridurre l'impatto verso l'ambiente e massimizzare, quanto più possibile, la salubrità degli spazi abitativi. Per far ciò, verranno impiegati materiali naturali e riciclabili come il legno, in quanto è un materiale che vanta notevoli qualità, non solo dal punto di vista costruttivo, ma anche dalle proprietà che presenta come materiale isolante. La struttura portante, è costituita da un sistema a telaio innovativo denominato" Suteki Wood System", che prevede l'utilizzo di travi e pilastri in legno lamellare, connessi tra loro attraverso giunzioni in acciaio al carbonio. L'edificio realizzato, poggerà su delle fondazioni a platea in c.a. in grado di ospitare sia il fabbricato, sia il magazzino per attrezzi ad esso annesso. L'edificio si svilupperà su due piani: tutti gli ambienti principali verranno realizzati sul piano terra, tra cui una cucina open space, un soggiorno, un disimpegno, uno sgabuzzino, un bagno e una camera da letto matrimoniale. La scelta di realizzare l'edificio con un tetto a falde, ha permesso inoltre, di recuperare uno spazio soppalcato da adibire a zona studio. L'Eco Home, segue il principio di auto soddisfacimento di energia elettrica ed acqua calda sanitaria, per questo il suo orientamento è conseguenza della migliore angolazione per sfruttare al massimo la incidenze solari, sia per i pannelli fotovoltaici che per gli apporti termici all'interno degli ambienti. Non mancheranno però dei sistemi impiantistici per assicurare:

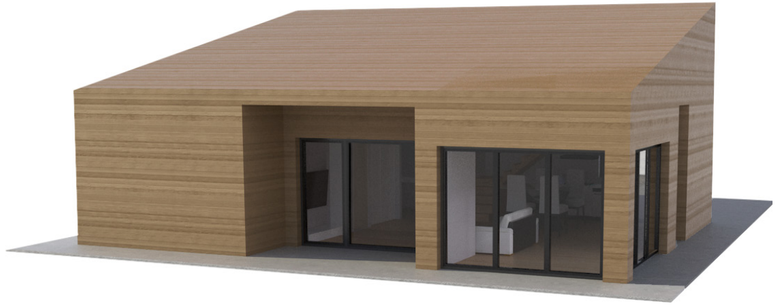
- la ventilazione meccanica controllata;
- il riscaldamento invernale;
- il raffrescamento estivo;
- la deumidificazione
- il ricambio dell'aria.

L'impianto principale sarà una pompa di calore che potrà essere alimentata dall'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico posto in copertura. Altra tecnologia che verrà applicata all'Eco Home è quella per il monitoraggio dei consumi e delle sostanze inquinanti indoor.

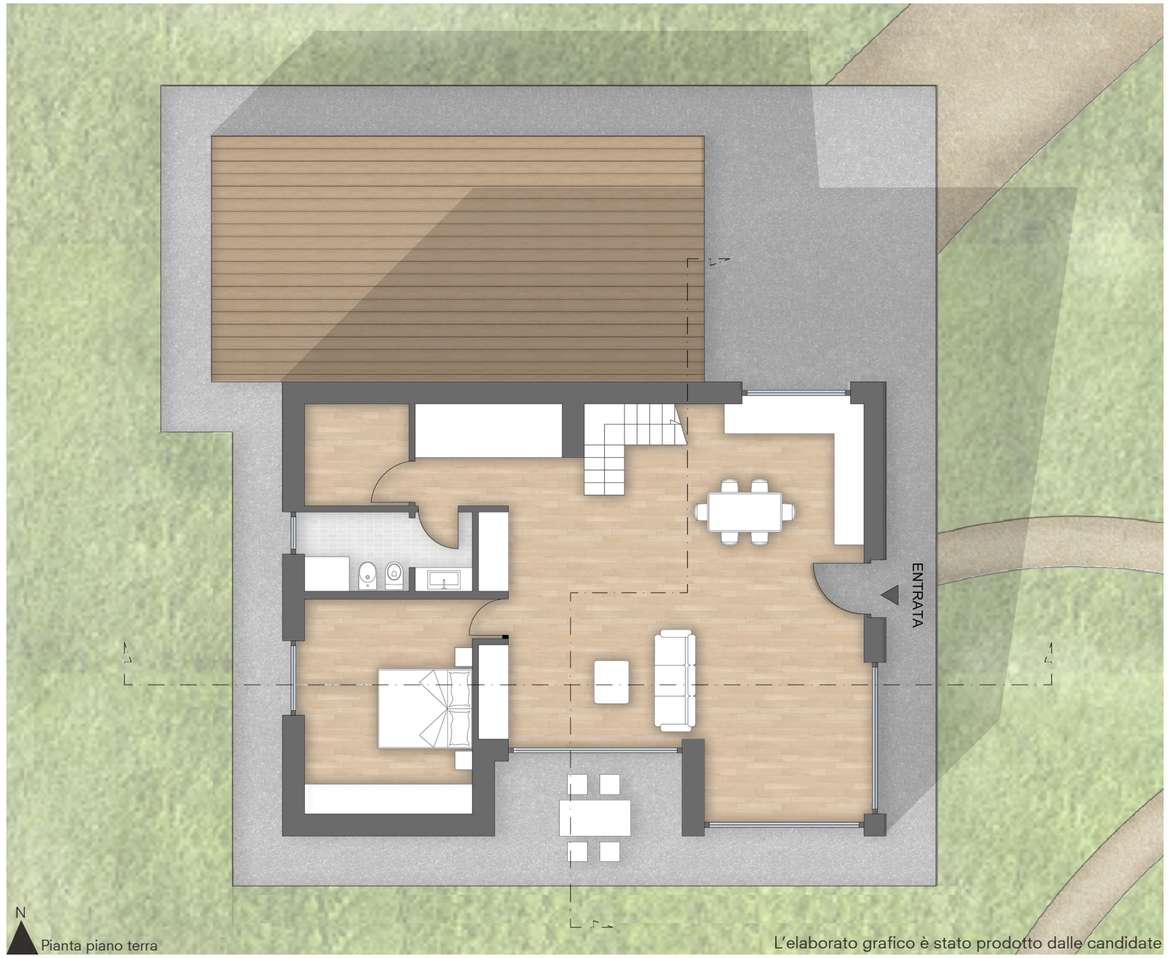



L'elaborato grafico è stato prodotto dalle candidate

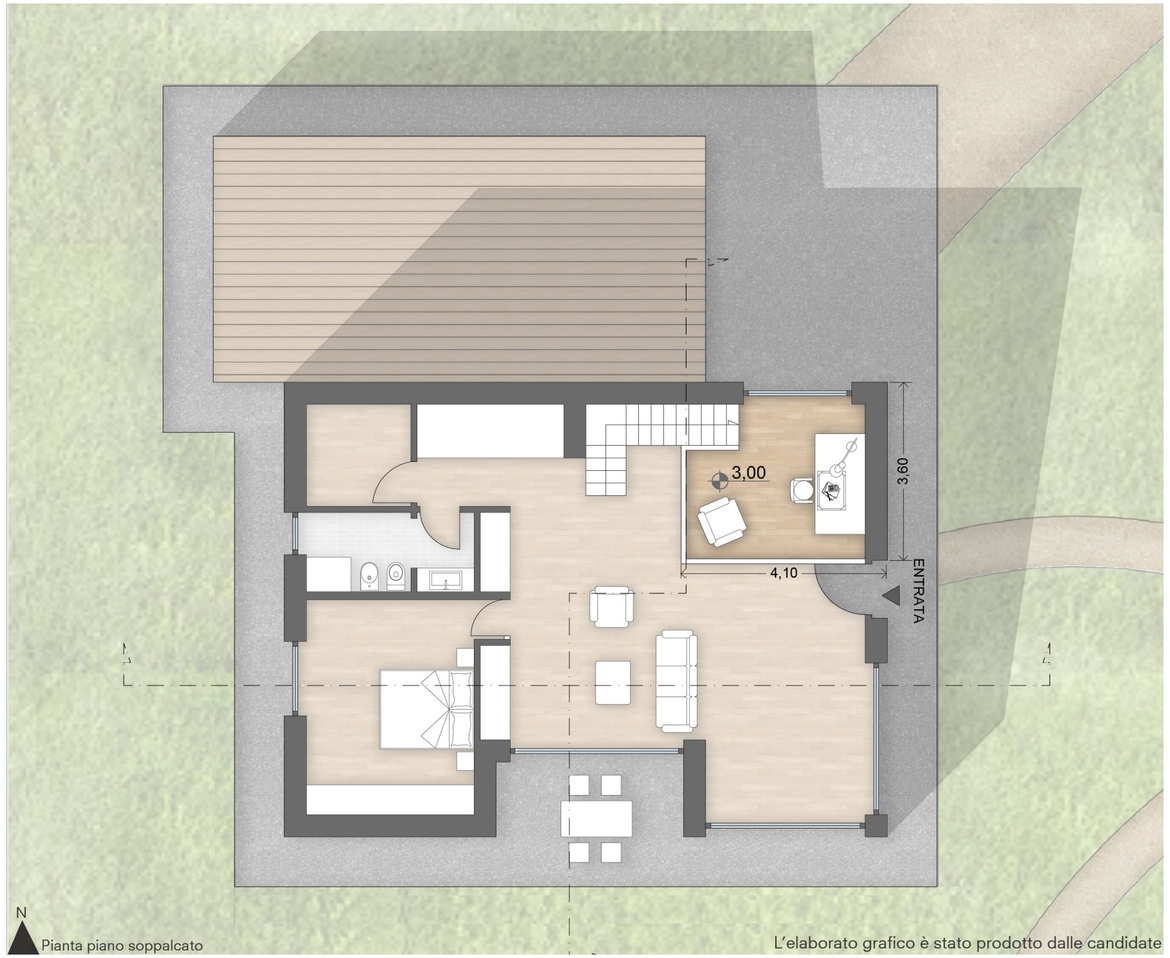
Vista 1



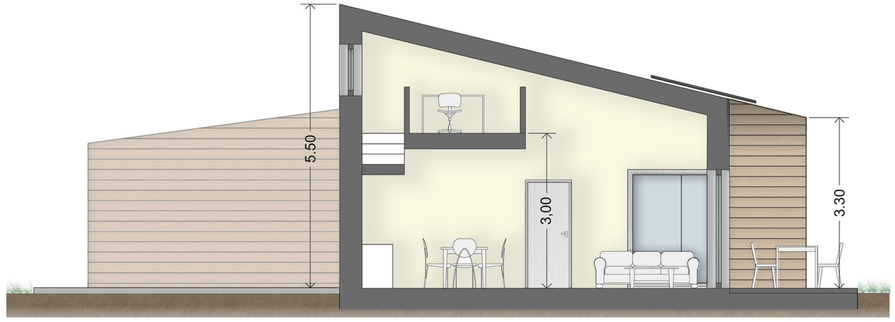
Vista 2
Gli elaborati grafici sono stati prodotti dalle candidate



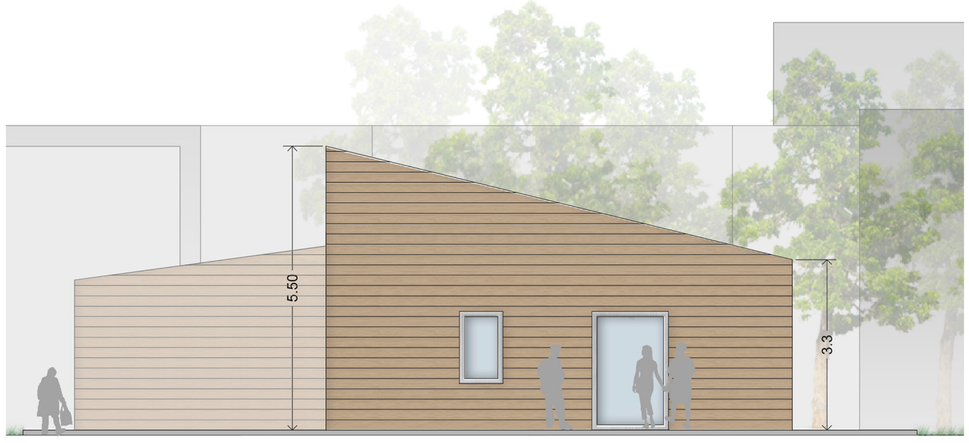

L'elaborato grafico è stato prodotto dalle candidate




L'elaborato grafico è stato prodotto dalle candidate



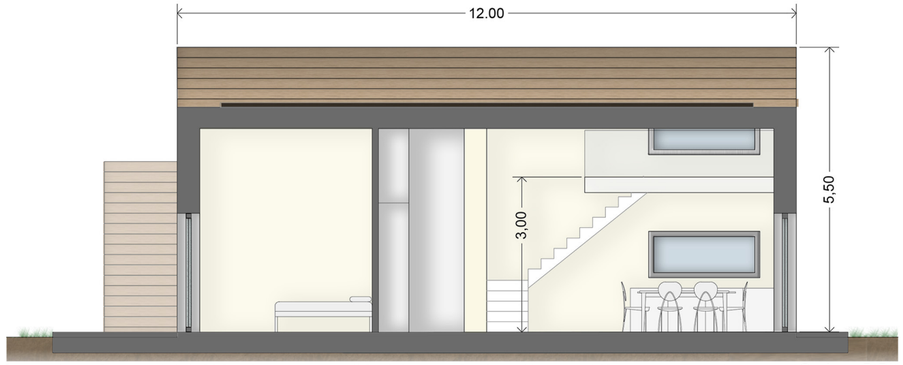

Sezione A-A'



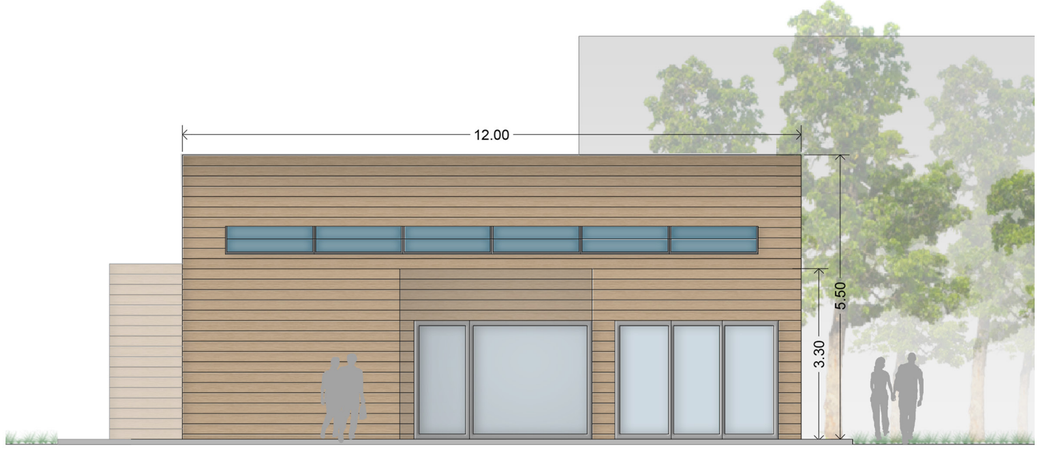

Prospetto Ovest

Gli elaborati grafici sono stati prodotti dalle candidate






Sezione B-B'




Prospetto Sud

Gli elaborati grafici sono stati prodotti dalle candidate

Prospetto Nord

L'elaborato grafico è stato prodotto dalle candidate

Prospetto Est

L'elaborato grafico è stato prodotto dalle candidate

## 5.2 Modulo PVZEN

Il modulo PVZEN è un modulo abitativo che verrà istallato in maniera temporanea all'interno di un lotto della cittadella politecnica del Politecnico di Torino, che ospiterà:

- una sala studio per studenti, insegnati e dottorandi;
- una sala riunioni sia per studenti che per docenti;
- un locale tecnico per la strumentazione e gli apparati elettronici di conversione elettronica, ad uso e servizio dell'edificio, che però sarà accessibile solo dall'esterno.

Il modulo oggetto di studio, si inserisce all'interno di un progetto di ricerca, che interessa tre dipartimenti del Politecnico: il DENERG, il DAD e il DET[81], e ha come obiettivo, quello di sviluppare un progetto con una propria autonomia per la corrente elettrica e per il condizionamento ambientale estivo ed invernale. Ciò sarà possibile grazie alla progettazione di un generatore fotovoltaico in grado di soddisfare le richieste dell' utenza, e far si che sia indipendente dalla rete di gas ed elettrica del Politecnico.

Il progetto in questione, prevedere un riutilizzo e un adattamento del modulo PVZEN realizzato dalla start-up Be-Eco nel 2015, in occasione dell'ostensione della Sindone in Piazza Duomo a Torino. Il nuovo modulo, non dovrà essere visto come un corpo estraneo che si inserisce all'interno di un contesto già progettato, ma parte integrante di esso grazie alla riqualificazione delle aree limitrofe all' edificio.

La scelta dei materiali per la realizzazione del modulo abitativo è ricaduta su materiali riciclabili per cercare di soddisfare il più possibile il concetto di eco sostenibilità, risparmio energetico e comfort. Ad esso è stata riconosciuta la certificazione ITACA, attestando, con un punteggio di 3 su 5, l'efficienza della struttura non soltanto dal punto di vista energetico, ma anche rispetto all'impatto ambientale e alla salute delle persone che frequenteranno quegli spazi. Nello specifico, la scelta del legno come materiale principale non è casuale, ma è stato scelto in quanto ha ottenuto notevoli riconoscimenti e certificazione PEFC, che lo hanno reso un materiale di alto pregio. In questo caso specifico, l'aspetto innovativo riguarda principalmente l'utilizzo di due materiali naturali, eco-compatibili, mai utilizzati insieme prima d'ora. Fra questi si ritrovano il legno e il sughero, che compongono una nuova tecnologia studiata e brevettata dalla Start-up Be-eco e che prende il nome di NaturWall.

81 Il DENERG è il Dipartimento di Energia; il DAD è il Dipartimento di Architettura e Design e il DET è il Dipartimento di Elettronica e delle Telecomunicazioni, tutti all'interno del Politecnico di Torino.

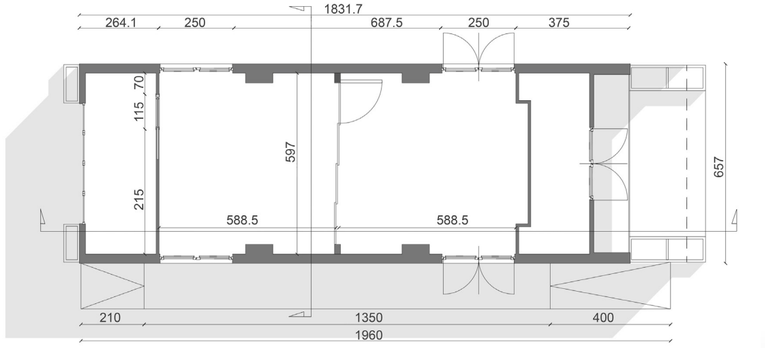


**Il progetto**

Il modulo risulta essere un semplice parallelepipedo posizionato al di sopra di traversine di ripartizioni dei carichi, disposte direttamente sull' area verde di pertinenza del prefabbricato. Tale soluzione è dovuta alla volontà di preservare il contesto nel quale il modulo verrà inserito, escludendo interventi eccessivamente invasivi.

Per quanto riguarda lo sviluppo planimetrico, esso si presenta su un unico piano fuori terra e, come precedentemente sottolineato, ospiterà al suo interno tre ambienti con funzioni differenti. Più in particolare, l'aula studio verrà caratterizzata dalla presenza di due aperture, una Sud-Sud-Ovest e Ovest-Nord-Ovest; la sala riunioni avrà un ingresso indipendente posto sul lato Nord-Nord-Est, ma comunicante dall'interno con l'aula studio; invece il locale tecnico, non sarà accessibile dall'interno, ma solamente dall'esterno con un apertura sul fronte Ovest-Nord-Ovest.

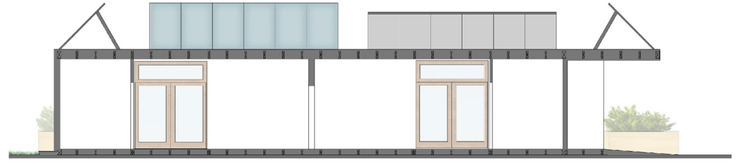
Tali ambienti, sono stati progettati come fossero degli spazi singoli, grazie alla completa indipendenza energetica dalle centrali del Politecnico, come affermato in precedenza. In questo modo, ciascun ambiente avrà il proprio impianto fotovoltaico per il soddisfacimento delle richieste energetiche, posizionato sulla copertura. La disposizione degli impianti inoltre, seguirà le quattro esposizioni solari e sarà caratterizzata da due impianti esposti a Sud-Sud-Ovest e Nord-Nord-Est e due impianti più piccoli rispettivamente a Est-Sud-Est e Ovest-Nord-Ovest.




N
SCALA 1:100

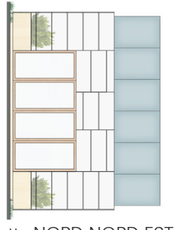
Planimetria

Gli elaborati grafici sono stati prodotti dalle candidate

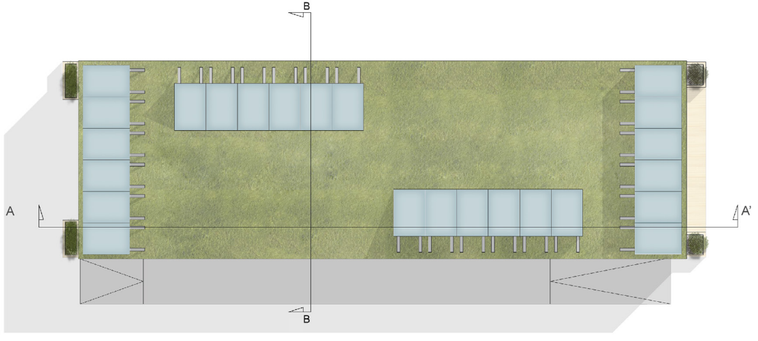


N
SCALA 1:100

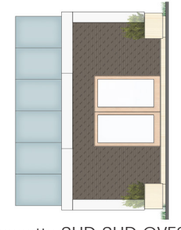
Sezione A-A'



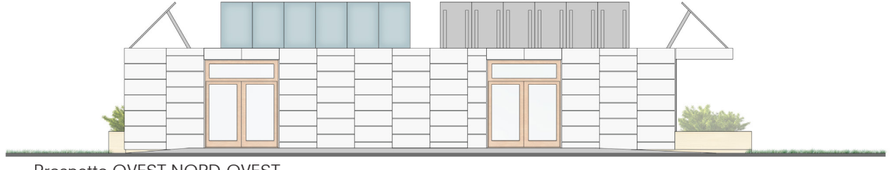
Prospetto NORD-NORD-EST




Pianta della copertura



Prospetto SUD-SUD-OVEST



Prospetto OVEST-NORD-OVEST

Gli elaborati grafici sono stati prodotti dalle candidate

## 5.3 Modulo MAACC

Il modulo MAAC _Modulo Abitativo Autosufficiente per Cicloturisti e Camminatori, nasce dall'idea di un gruppo di studenti provenienti dai corsi di laurea in Architettura, Design e Ingegneria del Politecnico di Torino, denominaro "Team Recyclo". I principi alla base dello sviluppo di questo progetto sono strettamente legati alla sostenibilità, alla ricerca, al riciclo, alla valorizzazione del territorio e del patrimonio storico, cercando di racchiudere tutto all'interno del modulo in esame. Quest'ultimo nasce dall'idea di partecipare attivamente al piano EuroVelo della Comunità Europea, ovvero un sistema di ciclostrade, inteso come risposta alla crescente necessità di creare strutture ricettive per il turismo a mobilità lenta, in grado di offrire spazi idonei per il pernottamento e la riparazione di biciclette. Nello specifico, il progetto ha previsto la realizzazione e l'autocostruzione di un prototipo abitativo, lungo la ciclostrada Eurovelo 8 che collega Cadice con Atene e la riqualificazione dell'area all'interno del quale si va ad inserire. La progettazione del modulo mira inoltre a valorizzare la filiera corta, prevedendo l'utilizzo di materiali locali, nello specifico:

- il legno;
- la lana di pecora;
- scarti della lavorazione del riso.

Aspetto interessante del progetto, riguarda le logiche secondo cui è stato concepito, in merito alla possibilità di smontare e ricomporre ogni sua parte, in un arco di tempo che non supera i 6 giorni; ciò è possibile grazie all'utilizzo del sistema tecnologico a secco e ad una progettazione rispondente ai principi di sostenibilità, quali riciclaggio e riutilizzo dei materiali impiegati. Le fasi di realizzazione che si individuano, sono principalmente quattro: le fondazioni, il cui sistema costruttivo è caratterizzato da travi radice che poggiano sul piano di calpestio esistente, unendosi alla preesistenza di ancoraggi permanenti all'interno dell'area di lavoro; la struttura in elevazione, che è composta da un sistema a telaio con travi e pilastri in legno lamellare uniti tra loro da incastri metallici; i tamponamenti, composti da pannelli OSB per l'irrigidimento della parete e completati con uno strati di finitura.



**Il progetto**

Il team Recyclo, grazie al supporto di insegnati qualificati, ed alla collaborazione dell'Ente Parco Ticino e lago Maggiore, ha ottenuto l'approvazione per la realizzazione del modulo, all' interno di un porticato della Cascina sede del Parco delle Lame del Sesia ad Albano Vercellese (VC) . Il team si è occupato dell'intero progetto, dall'idealizzazione, alla progettazione fino alla fase finale che consisterà nella costruzione dell'edificio. Le tempistiche per giungere alla realizzazione del modulo abitativo si sono prolungare più del dovuto, in quanto è trascorso circa un anno da quando è nata l'idea di volerlo realizzare. Il modulo rimarrà all'interno della Cascina per un anno, in base agli accordi presi con l'Ente Parco e avrà come obiettivo quello di illustrare il progetto MAACC: che cos'è e in cosa consiste.

Il modulo MAACC, nasce a seguito di una progettazione strettamente influenzata dal contesto, sia per quanto riguarda le forme e la disposizione dei locali interni, che riprendono quelli della Cascina in cui è inserito; sia per i principi di alimentazione del modulo, che riprendono quelli usati per le "risaie" .

Poiché l'obiettivo del progetto è il soddisfacimento dei bisogni primari di cicloturisti, la bicicletta assume una posizione di primaria importanza, attorno alla quale è incentrata ogni decisione e scelta progettuale. Per questa, infatti, è stato pensato uno spazio appositamente dedicato, che si integra con quello abitabile, interno al modulo. La scelta di creare un' area apposita per il deposito bici, è nata a seguito di interviste fatte a cicloturisti, che hanno espresso l'utilità di tale luogo, qualora venisse realizzato.

L'alloggio, inoltre, non solo risulta essere a disposizione di coppie di cicloturisti, ma permette la convivenza di due viaggiatori singoli, con la conseguente necessità di stabilire un minimo di divisione degli spazi per un maggior rispetto della privacy.

Lo spazio abitativo, inoltre, nonostante le piccole dimensioni, è in grado di ospitare tre diversi ambienti: un'area di ingresso che funge anche da soggiorno, una camera da letto per due persone e un bagno.

Per quanto riguarda il sistema strutturale, è stata utilizzata una tecnologia innovativa, proposta dalla start_up Be-Eco, chiamata "Suteki Wood System, che ha permesso di costruire il modulo in soli quindici giorni.

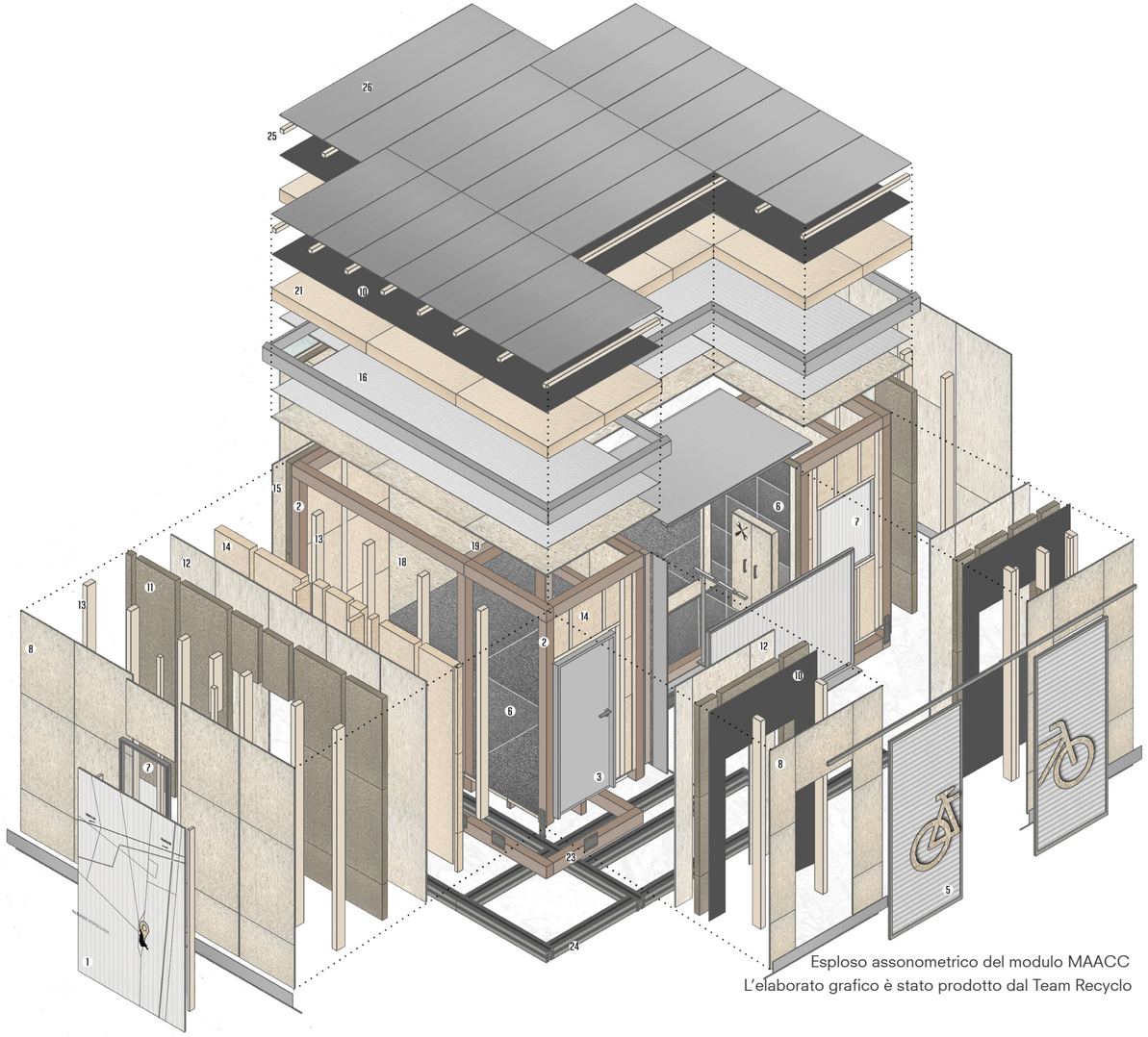
Si tratta, infatti, di una tecnologia avanzata di origine giapponese, che permette di ridurre drasticamente i tempi di realizzazione, grazie ad elementi ad incastro puntuali. Questo sistema, di natura prefabbricata, viene realizzato in stabilimento, seguendo le direttive di base del progetto, per poi

essere successivamente portato il loco e montato, tramite una serie di connettori metallici rinforzati al carbonio, che conferiscono maggiore stabilità. Gli elementi principali di questa nuova tecnologia costruttiva sono le travi e i pilastri GL 24 di sostegno, che non superano le dimensioni massime di 12 cm. Questi ultimi hanno anche ottenuto la certificazione giapponese per le costruzioni in legno lamellare, JAS-Standard e la certificazione PEFC per la provenienza del legno da foreste gestite in modo sostenibile.

Punto di forza della struttura a telaio, è quella di intervenire sulle componenti  opache dell'involucro e avere la possibilità di adottare differenti soluzioni che concorrono al raggiungimento di ottimi livelli di comfort indoor. Quest' ultimo, infatti, è ottenuto in relazione alla scelta dei materiali e dei componenti utilizzati. Per rispondere ai requisiti di sostenibilità, l'utilizzo di materiali "green" è considerata una soluzione efficace ed appropriata. A tal proposito, I gli elementi di tamponamento  adottati per il modulo MAACC, sono materiali  al 100% naturali. Fra questi, si ritrovano il Biomattone e sughero, con i quali si punta ad alti valori di comfort abitativo e benessere degli utenti, limitando al massimo il consumo di risorse e di energie non rinnovabili. L'idea di voler realizzare una parete in mattoni calce-canapa risulta essere tra le più innovative soluzioni degli ultimi tempi, in quanto è in grado di sfruttare un materiale che fino a poco tempo fa era semplicemente considerato di risulta.

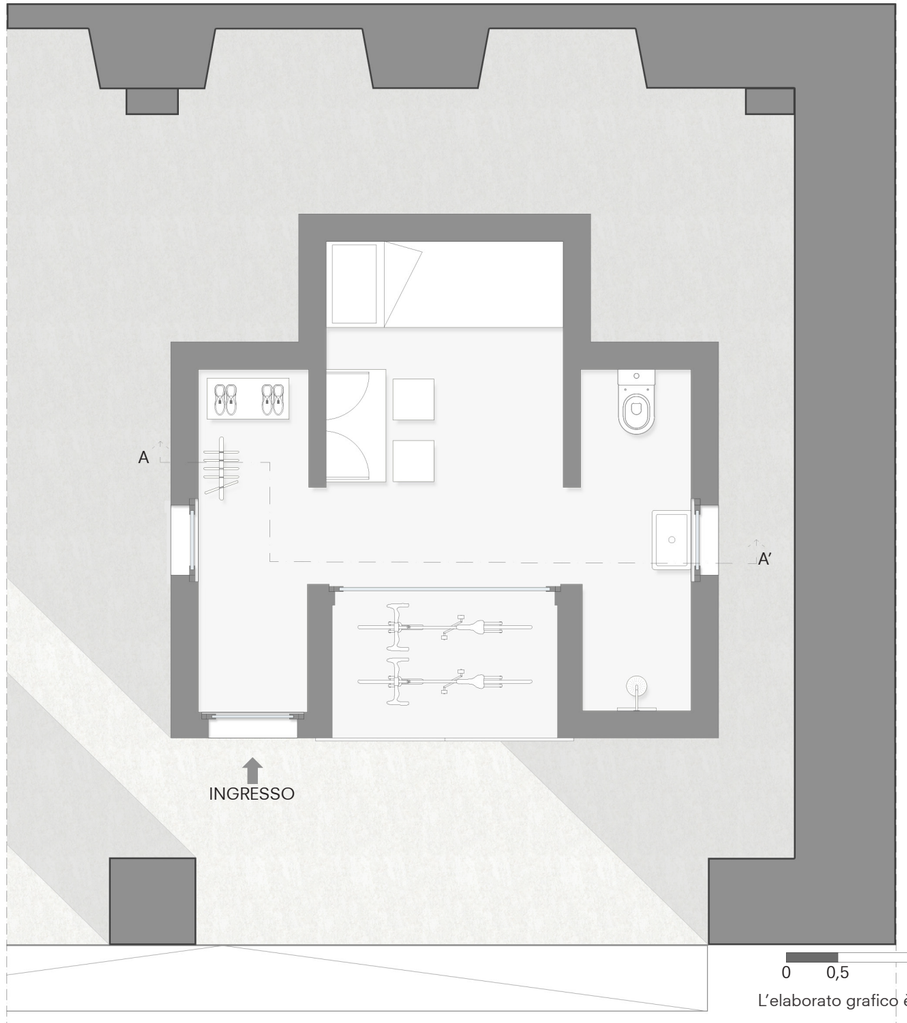
La scelta di voler utilizzare il modulo abitativo MAACC come modello per lo sviluppo dell'analisi sul ciclo di vita di componenti di involucro opaco, approfondita nei prossimi capitoli, è direttamente legata alle effettive tempistiche di realizzazione del progetto. Infatti, rispetto ai primi due edifici analizzati, si ipotizza che il modulo MAACC possa essere realizzato entro la fine di Dicembre 2018, e quindi molto più vicino al lavoro di tesi rispetto agli altri.

L'elaborato grafico è stato prodotto dal Team Recyclo



Esploso assonometrico del modulo MAACC
L'elaborato grafico è stato prodotto dal Team Recyclo

1- Pannello in policarbonato retroilluminato
2- Pilastro in legno lamellare con incastri di tipo "Suteki "
3- Porta d'ingresso con infisso in legno
4- Griglia elettrosaldata di pavimentazione esterna
5- Serramento scorrevole in lamiera forata
6- Pannello di rivestimento in gomma riciclata
7- Infissi a taglio termico in alluminio con pannelli di policarbonato
8- Pannello di rivestimento esterno in OSB
9- Intercapedine d'aria
10- Guaina impermeabilizzante
11- Isolamento in pannelli di paglia di riso ad alta densità
12- Pannello in OSB di pioppo
13- Montanti in legno
14- Isolamento in pannelli di paglia di riso
15- Pannello di irrigidimento in OSB di pioppo
16- Barriera al vapore
17- Intercapedine per passaggio di impianti
18- Pannello di rivestimento interno in OSB
19- Trave secondaria in legno lamellare
20- Intercapedine per passaggio di impianti
21- Isolamento in pannelli di paglia di riso
22- Sottostruttura per pavimentazione interna flottante
23- Trave di bordo in legno lamellare con incastri di tipo "Suteki"
24- Profilo in alluminio di sopraelevazione per attacco a terra di tipo "Alufoot"
25- Sottostruttura in travetti in legno lamellare di sostegno alla copertura
26- Copertura in pannelli di lamiera con coprigiunto
27- Sottostruttura a "T" rovesciata di sostegno alla pavimentazione esterna
28- Profilo IPE270 di sostegno alla pavimentazione esterna




N

Pianta modulo MAACC

0 0,5 1 2 m

L'elaborato grafico è stato rielaborato dalle candidate.

Sezione A-A'

Prospetto Sud-Ovest

0 0,5 1 2 m

Gli elaborati grafici sono stati rielaborati dalle candidate.

# 6. LA SELEZIONE DI AZIENDE ITALIANE DI PRODOTTO “GREEN” E I LORO MATERIALI

Al fine di dimostrare ed applicare i concetti appresi sull’innovazione tecnologica e sull’eco-efficienza fin qui delineati, a seguito di specifiche ricerche, sono stati individuati sei elementi tecnici di involucro edilizio realizzati con materiali interamente naturali, il cui sviluppo sta subendo una rapida crescita in campo edilizio, soprattutto negli ultimi anni.
Se si osserva lo sviluppo delle nuove tecnologie edilizie, ciò che viene messo in luce, è la forte attenzione all’ambiente e alla sua salvaguardia. Per tale ragione, il lavoro di tesi, è stato indirizzato verso la ricerca di una tecnologia innovativa e nel pieno rispetto dell’ambiente, sia per quanto riguarda l’utilizzo dei materiali, per le tecniche di montaggio e smontaggio degli edifici e per lo smaltimento dei rifiuti finali a seguito della demolizione. I prodotti scelti, sono stati schedati in funzione dei parametri eco-innovativi precedentemente definiti, riportando: le aziende scelte, le caratteristiche del materiale, le materie prime impiegate e il processo produttivo adottato per dar vita al prodotto finito.
La scelta delle aziende a cui far riferimento per il reperimento dei materiali impiegati è ricaduta su ditte italiane, che si occupano della produzione e commercializzazione dei prodotti, non solo all’interno del territorio nazionale, ma anche estero. Nello specifico, le aziende scelte hanno già da tempo istaurato un rapporto di collaborazione con la startup Be-eco del Politecnico di Torino, a cui ci si è affidati per potare avanti il progetto di tesi. In questo modo, si è ottenuta la completa disposizione e collaborazione da parte loro, a fornire tutta la documentazione necessaria al fine di portare avanti lo studio di analisi. Le aziende sono:

- Abitare Legno per la fibra di legno a Castiglione Torinese (TO);
- Tecnosugheri per il sughero a Paderno Dugnagno (MI);
- Ton Gruppe per i mattoni in argilla a Laghetti di Egna (BZ);
- Equilibrium Bioedilizia per il biomattone a Nibionno (LC);
- CMF Greentech per la canapa a Cavezzo (MO).

## 6.1 Abitare Legno

**Figura 9.** Pannello in fibra di legno, fonte: http://www.betonwood.com/fibra-di-legno

Abitare Legno è un'azienda che nasce, inizialmente come segheria, per raggiungere successivamente una completa evoluzione e entrare a far parte del mercato delle costruzioni in legno. L'azienda non si occupa solamente di realizzare strutture in legno, ma spazia dagli edifici, a materiale per falegnamerie, arredo interno ed esterno e una vasta gamma di prodotti per tutti gli usi. Essa, inoltre, è divisa in due parti, per cercare di soddisfare quanto più possibile le richieste della clientela:

- Abitare Legno fai da te s.r.l. specializzato nel bricolage del legno;
- Abitare Legno s.r.l. specializzata nella tecnologia applicata alle costruzioni in legno.

Nord Legnami ha ricevuto la certificazione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con un attestato di denuncia dell'attività di lavorazione di elementi strutturali in legno, certificando l'importante lavoro che essa svolge all'interno del mercato della bioedilizia.

**I prodotti Abitare Legno**

L'azienda Abitare Legno, specializzata nella lavorazione e produzione di materiali in legno, ha fornito i prodotti in fibra di legno, utili all'analisi. Questi, sono composti per circa l'80% da fibre di legno (principalmente legno di conifera), mentre la restante parte è composta da leganti e/o additivi. Tali prodotti, vengono per la maggior parte, impiegati per l'isolamento acustico e termico degli edifici.
Le caratteristiche principali di questi pannelli sono:



- L'eccellente protezione dal freddo grazie a valori di bassa termo conduttività;
- Eccellenti valori di accumulo che garantiscono una protezione dal caldo estivo;
- Creano un clima abitativo confortevole, grazie ad un'elevata traspirabilità e una notevole regolazione dell'umidità;
- Hanno ottime caratteristiche di isolamento acustico per effetto dell'assorbimento del rumore da calpestio, da urti e vibrazioni;
- Sono facili da smaltire e/o riciclare.

## 6.2 Tecnosugheri s.r.l.

**Figura 10.** Pannello in sughero bruno, fonte: www.google.it/search=pannello+in+sughero+bruno

L'azienda Tecnosugheri s.r.l. si inserisce all'interno del mercato edilizio italiano con uno dei materiali che si sta maggiormente affermando: il sughero. La ditta nasce dopo il consolidamento di una collaborazione tra Tecnosugheri e l'azienda leader mondiale nel settore della produzione del sughero: Amorim. In un periodo in cui si va alla ricerca di materiali naturali, con elevate prestazioni di sicurezza, affidabilità eco-sostenibilità e risparmi energetico, si è dato vita ad un prodotto per l'isolamento termico che vanta tra le migliori prestazioni tecniche, ambientali e di sicurezza. Il sughero risulta

essere uno dei più sviluppati ecosistemi del mondo ed è stato addirittura inserito tra i 35 esempi di biodiversità più importanti del pianeta. La conservazione e la grande espansione dei sughereti risulta possibile grazie al valore economico e ambientale che il sughero riveste.
I prodotti realizzati con questo materiale, vengono utilizzati come isolanti e possono essere inseriti in varie tipologie di parete, sia per edifici di nuova realizzazione, sia per opere di riqualificazione, nel pieno rispetto dell'innovazione e della sostenibilità.

**I prodotti Tecnosugheri s.r.l.**
Il pannello ICB- Expanded Insulation Cork Board, è uno dei prodotti che concorre a definire la stratigrafia di alcuni degli elementi tecnici di involucro considerati nello studio.  Questo materiale, si ottiene dopo un processo di tostatura naturale del sughero stesso, senza l'aggiunta di colle o sostanze chimiche. Il processo termico di tostatura permette l'attivazione di resine naturalmente contenute nella corteccia degli alberi, che sono in grado di agire come collanti naturali permettendo l'aggregazione di granuli che danno vita al pannello. Tale processo, non altera le caratteristiche di base della materia prima, ma le migliora, in quanto permette ai granuli di espandersi, agevolando le proprietà di coibenza. Inoltre, la colorazione bruna tipica del pannello in sughero è conseguenza di tale processo.
Il pannello in sughero Corkpan risulta essere al 100% naturale, riutilizzabile e riciclabile; la sua migliore caratteristica, è la durata illimitata ed un eccellente stabilità dimensionale; risulta essere un prodotto insensibile all'acqua e all'umidità e fortemente resistente al fuoco, tanto che le sue prestazioni termiche risultano inalterate anche oltre i 50 anni; è un ottimo isolante sia per la stagione estiva, sia per quella invernale ed , inoltre, è un materiale completamente atossico e di conseguenza ha ottimi impieghi anche all'interno delle abitazioni.
Principalmente gli impieghi dei pannelli in sughero sono:
- I cappotti interni ed esterni con rasatura;
- Le facciate ventilate;
- Le terrazze sotto guaina impermeabile;
- I sottotetti e le coperture a falde;
- Le intercapedini;
- L'isolamento antivibrante.



## 6.3 Ton Gruppe

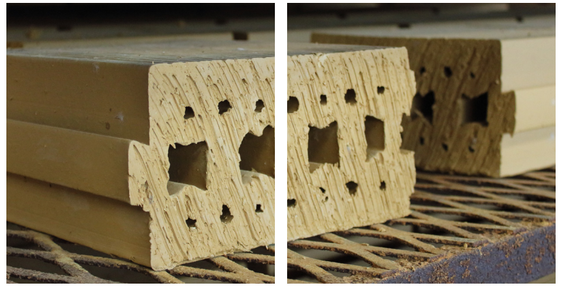


**Figura 11.** Blocchi in terra cruda Kryoton, fonte: la foto è stata prodotta dalle candidate

Ton Gruppe è un'impresa che fin da subito si è fortemente consolidata nel campo della bioedilizia, dando vita ad un significativo know-how nel settore dello costruzioni ecosostenibili. Il principio alla base dello sviluppo di Ton Gruppe è dato dalla conoscenza profonda dei materiali che portano allo sviluppo di prodotti, che a loro volta creano dei sistemi, che uniti permettono di costruire una casa completa, sana ed efficiente. I materiali su cui hanno scommesso sono l'argilla, la fibra di canapa ed il legno, impiegati sia per la realizzazione di nuovi edifici, sia nella riqualificazione di edifici già esistenti, sia nelle opere di risanamento; tutto nel rispetto dell'ambiente e delle persone che vi abitano. Mirano alla realizzazione di ambienti sani e confortevoli, con una migliore qualità della vita, lunga durata dei materiali e un basso, se non nullo, consumo energetico, permettendo così il recupero dei costi di investimento, di gestione e mantenimento dell'edificio. La realizzazione della casa in terra cruda, è considerata un traguardo nella bioedilizia italiana, poiché permette di limitare lo spreco di risorse e di consumi. Essa, infatti, permette di raggiungere elevate prestazioni energetiche rispetto alle normative europee degli ultimi anni. Le tecniche impiegate per lo sviluppo degli edifici sono molto semplici e ben studiate, in grado si ridurre le dotazioni impiantistiche e, di conseguenza, la riduzione degli impianti meccanici per la climatizzazione estiva ed invernale. Inoltre, il sistema costruttivo utilizzato permette:
- La regolazione naturale dell'umidità tipica della terra cruda, evitando il rischio di condensa o

ambienti troppo secchi;
– Il controllo della temperatura, grazie alla massa del materiale, evitando in questo modo ambienti troppo caldi o troppo freddi;
– Attenuazione del rumore;
– La neutralizzazione dell'inquinamento elettromagnetico;
– La purificazione dell'aria in modo naturale;
– La possibilità di ottenere ambienti naturali, sani e fatti da materiali ecologici.

Tutto ciò è ampliamente dimostrato anche da studi di LCA svolti sui materiali, confermando gli alti livelli prestazionali che altri materiali da costruzione non sono in grado di raggiungere.

**I prodotti Ton Gruppe**

I prodotti utilizzati dell'azienda Ton Gruppe sono:

– I mattoni Kryoton.

*"Perché cuocere un mattone a 1000 °C…se crudo è 1000 volte meglio?" (Ton Gruppe_Healthy Buildings)*

Kryoton è un blocco di mattoni semipieno rettificato, composto da un materiale completamente naturale e "antico": la terra cruda. Essa costituisce la materia prima fondamentale per la composizione dei mattoni, miscelata successivamente con fibre vegetali. Per quanto la terra cruda sia stata definita un materiale "antico", essa è anche il materiale del futuro, perché è in grado di soddisfare tutti i più importanti requisiti di sostenibilità tra cui: le elevate prestazioni energetiche, il bilancio energetico positivo, salubrità della casa, facilità di smaltimento ed eterno riutilizzo. Il punto di forza di questi mattoni Kryoton è il consumo minimo di energia, infatti il materiale è interamente essiccato all'aria e al sole, in un periodo di tempo che varia in base alle condizioni climatiche. I mattoni ottenuti, sono dei prodotti che possono essere interamente recuperati e riutilizzati infinite volte, in quanto sono considerati eternamente reversibili e non diventeranno mai un rifiuto. La caratteristica di una muratura in blocchi Kryoton è quella di regolare in maniera completamente naturale, sia la temperatura, che l'umidità all'interno degli ambienti in tutte le fasi dell'anno, garantendo un elevato comfort, un buon livello di salubrità e il risparmio energetico. Inoltre i mattoni Kryoton sono definiti dei mattoni sani, in grado di non trattenere la polvere e non portare allo sviluppo di acari; ha ottime caratteristiche fonoassorbenti in grado di proteggere dal rumore e assorbe i cattivi odori eliminandoli dall'ambiente interno. I blocchi in terra cruda possono facilmente adattarsi alle strutture a telaio in legno, in acciaio e in cemento armato, oppure affiancati a parti in calcestruzzo e/o in laterizio.



– Gli intonaci

L'azienda Ton Gruppe commercializza due tipologie di intonaci per rifiniture esterne ed interne. La prima, è rappresentata da intonaci in terra cruda che sfruttano le ampie potenzialità, precedentemente citate, della materia prima.

Fra questi si ritrovano:

*1.Geosana Intonaco Rustico*, è composto principalmente da argilla, sabbia di fiume e fibre naturali . L'intonaco può essere applicato direttamente su supporti in terra cruda oppure su materiali assorbenti come il laterizio, cemento armato, pietra e cemento cellulare. Anche l'intonaco in terra cruda presenta una grande capacità di regolare la temperatura e l'umidità, prevenendo la formazione di muffe. Questa tipologia di intonaco può essere rifinito con l'intonachino pregiato oppure lasciato allo stato grezzo.

*2.Intonachino Pregiato Geosana* è l'intonaco utilizzato per la finitura di interni. Quest'ultimo risulta composto unicamente da argille e inerti che attribuiscono al composto dei colori pastello senza l'aggiunta di pigmenti o sostanze coloranti. Anche in questo caso, l'intonaco in argilla ha grande capacità di regolazione dell'umidità, non necessita inoltre di ulteriore pitturazione e, grazie all'elevata alcalinità, è in grado di prevenire la formazione di muffe. Principalmente viene impiegato per i blocchi Kryoton, ma nulla vieta che possa essere utilizzato su altre tipologie di superfici intonacate. Presenta tutte le caratteristiche dell'intonaco rustico e si differenzia dalle altre tipologie di pitture per le sfumature cromatiche che è possibile raggiungere a seconda della tecnica di posa utilizzata.

La seconda tipologia di intonaco commercializzata dall'azienda è a base di calce:

*3. Intonaco Rustico* con pura Calce Geosana viene applicato come intonaco di fondo sull'apposito lato nervato dei blocchi Kryoton. La messa in posa dell'intonaco prevede l'utilizzo di una rete di rinforzo in fibra di vetro. Una volta completata la fase di asciugatura dell'intonaco, questo viene coperto con una finitura colorata sempre in calce, dello spesso di circa 2-3 mm.

– Gli isolanti.

Il *Canaton D40* è un pannello isolante termo acustico, completamente realizzato in canapa, adatto per la coibentazione di pareti, coperture, solai, controsoffitti e contropareti. La sua composizione principale è data dalle fibre di canapa miscelate con una piccola percentuale di fibre di poliestere o con amido di mais. Il pannello risulta essere privo di additivi nocivi e inquinanti ed è un prodotto biodegradabile ed ecologico . Esso risulta essere un materiale altamente traspirante e resistente all'umidità e in caso di assorbimento accidentale riesce comunque a mantenere inalterate le sue

proprietà una volta ritornato asciutto. È un materiale di facile lavorazione e il contatto diretto con esso, non comporta irritazioni cutanee o alle vie respiratorie. Il Canaton D40 risulta essere inattaccabile da parte di insetti e roditori, grazie all'assenza di sostanze proteiche e, inoltre, è resistente alle muffe e completamente riciclabile.

## 6.4 Equilibrium

**Figura 12.** Blocchi in Biomattone, fonte: www.google.it/search?q=blocchi+in+biomattone

Equilibrium è un'impresa che opera all'interno del settore della bioedilizia, dei materiali da costruzione naturali e delle tecnologie per l'efficienza energetica. L'obiettivo è quello di puntare sulla riduzione dei consumi energetici di edifici nuovi ed esistenti e sul miglioramento del comfort abitativo degli occupanti. Per far ciò, utilizzano dei sistemi costruttivi e di isolamento di tipo naturale, che pone al centro due componenti fondamentali a base di calce e di canapa. Equilibrium si fonda su tre principi base che corrispondono: al rispetto dell'ambiente e l'impegno a rigenerarlo; la valorizzazione del capitale umano che le dà vita e delle persone con cui collabora; l'attenzione all'aspetto economico delle operazioni per poter continuare ad investire nell'innovazione, nella ricerca e nello sviluppo.
I prodotti realizzati da questa azienda, si concentrano sul superamento delle criticità legate alla cattiva gestione del vapore acqueo e dell'umidità tipica dei materiali convenzionali di origine minerale e sintetica. Le soluzioni costruttive che l'azienda è stata in grado di realizzare, consentono di ottenere



un elevato risparmi energetico seguendo due strade:
- Utilizzando materiali naturali con un basso livello di energia grigia;
- Riduzione al minimo del fabbisogno energetico per le fasi di riscaldamento e raffrescamento di un edificio.

In ambito civile, l'azienda Equilibrium permette sia la progettazione e, successivamente, realizzazione di ville, villette e palazzine "passive" o in "Classe A", completamente naturali ed eco-compatibili, sia la ristrutturazione di abitazioni ed edifici per cercare di aumentare il loro valore sul mercato, migliorandone la classe energetica, accrescendo il comfort abitativo e riducendo, per quanto possibile, il problema dell'umidità.

**I prodotti Equilibrium**
Il Biomattone, è un altro dei prodotti naturali utilizzati in ambito di tesi. Esso è realizzato dall'azienda Equilibrium, è un materiale isolante massiccio, in grado di combinare proprietà di isolamento e di massa termica. I materiali di base usati per la sua realizzazione corrispondono a legno di canapa certificata e un legante, ovvero un legante di calce idrata dolomitica. In ambito di sostenibilità, rispetta in pieno tutti i requisiti stabiliti per un materiale da costruzione: alta capacità isolante, bassa energia incorporata e capacità di assorbimento della $CO_2$ dall'atmosfera. Le sue caratteristiche principali sono:
- Comfort termico, acustico ed igrometrico ;
- Ottime capacità di resistenza al fuoco, al gelo, agli insetti e ai roditori;
- Non produce fumi tossici in caso di incendio;
- Presenta bassi valori di energia durante la fabbricazione;
- È un prodotto interamente riciclabile.

L'applicazione in edilizia del Biomattone permette la realizzazione di: edifici di nuova costruzione, realizzando murature di tamponamento con alte prestazioni di isolamento e traspirazione; riqualificazione di edifici già esistenti, creando un isolamento esterno, definito "a cappotto", o un isolamento interno sia di pareti che di sottopavimento.
La messa in opera del Biomattone, avviene attraverso l'incollaggio dei blocchi con uno strato sottile di malta di calce e canapulo. Le pareti divisorie e le partizioni interne, possono essere rivestite con malta di sabbia e calce, argilla, gesso o altre finiture traspiranti, mentre le superfici esterne devono essere rivestire con finiture traspiranti. Rispetto al Protocollo ITACA, l'impiego del Biomattone permette, inoltre, di ottenere ottimi punteggi di certificazione.

## 6.5 CMF Greentech

**Figura 13.** Pannello in canapa, fonte: www.cmfgreentech.com

CMF Greentech è un'azienda che ha dato vita ad un nuovo gruppo di bio-materiali, grazie al grande interesse per un prodotto considerato "del passato", ma che oggi sta acquistando un peso sempre maggiore all'interno del settore della bioedilizia: la canapa. Quest'ultima, è sempre stata identificata come un materiale di scarto della nostra società. Tuttavia, oggi, grazie all'idea di base di questa azienda, si sta inserendo sempre di più all'interno del mercato.
Motto dell'azienda CMF Greentech è "il futuro è il presente", in quanto, all'interno della loro ottica circolare sono in grado di sfruttare ciò che è passato, trasformandolo in una nuova grande risorsa. Quest'ultima sarà a favore dell'ambiente e vantaggiosa per l'uomo sia in termini di risparmio energetico, sia in termini di ottime prestazioni tecniche.
I materiali prodotti per mano di questa azienda, risultano essere privi di formaldeide e completamente slegati dalla filiera del petrolio, con elevate proprietà, come: resistenza all'azione del fuoco e del calore; resistenza all'azione dell'acqua; realizzati da materie prime rinnovabili; progettati secondo una logica green-friendly ed eco-sostenibili; facilmente lavorabili con attrezzature comuni nel settore del legno e completamente anti-batterici.
L'obiettivo finale a cui mira la CMF Greentech è quello di riuscire a migliorare la vita degli uomini con soluzioni sempre più "smart", inserendosi sia nel campo edile, sia in quello di design:

– CMF Greenbuilding è la divisione che si interessa degli aspetti edili, che va alla ricerca di soluzioni che possano accrescere il valore in ambito di eco-sostenibilità, nel pieno rispetto del risparmio economico e delle elevate prestazioni tecniche;
– CMF Greendesign è la divisione che si interessa del design con lo sviluppo di numerosi materiali green, che mostrano come punto di forza l'estetica.

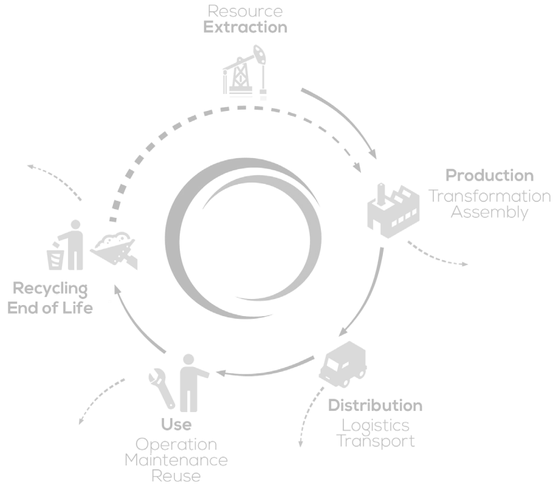
I prodotti dell'azienda CMF Greentech vengono impiegati per la realizzazione di nuovi edifici o per la riqualificazione di quelli già esistenti, permettendo il raggiungimento di fattori base quali: il benessere e la salute dell'uomo, mirando ad un sempre più elevato miglioramento delle prestazioni di un edificio.

**I prodotti CMF Greentech**
I prodotti presi in esame dalla CMF Greentech sono:

– *CANAPAlithos 350* fa parte di una nuova tecnologia di biomateriali realizzati partendo dalla sintesi della biomassa di canapa e del legante che, nel caso specifico, prende il nome di "Pappa Reale". All'interno della gamma di prodotti creati dall'azienda, il CANAPAlithos 350 risulta essere la versione più leggera di tutti i prodotti creati, in quanto, rispetto ad altri pannelli da loro commercializzati, possiede una percentuale maggiore di granulometria in grado di contenere più densità. Presenta buone caratteristiche di resistenza termica e traspirabilità, rendendolo un ottimo isolante. Esso, inoltre, è caratterizzato da una struttura porosa che eleva le sue capacità fonoassorbenti, rendendolo adatto anche come pannello da controsoffitto.
La sua funzione principale è quella di chiusura nelle soluzioni di isolamento sia interno che esterno. Esso è, inoltre, stato studiato per essere applicato nelle coperture, solai e cappotti, ma non possiede caratteristiche strutturali. È caratterizzato da un basso impatto ambientale, completamente privo di formaldeide, con ottima resistenza all'acqua e al fuoco.
– Il *Granulato sciolto di canapa* è un altro dei materiali ecologici commercializzati dall'azienda, che viene utilizzato sotto forma di frammenti sfusi, come materiale riempitivo di intercapedini, per la realizzazione di componenti di involucro opaco.
– *CANAPAlithos 1000*, fa parte di una nuova tecnologia di biomateriali realizzati partendo dalla sintesi della biomassa di canapa e del legante che anche esso, prende il nome di "Pappa Reale". È un pannello che presenta le caratteristiche di base del pannello CANAPAlithos 350, a cui si aggiungono alte caratteristiche meccaniche, di resistenza all'acqua e al fuoco. Permette di ridurre le sezioni delle strutture portanti a telaio fornendo, inoltre, un contributo alla controventatura strutturale e nel fono isolamento di parete. Principalmente, viene utilizzato come pannello controventante nella struttura a telaio, come lastra nelle facciate ventilate, nei solai e nelle coperture. È

caratterizzato da un basso impatto ambientale, completamente privo di formaldeide, con ottima resistenza all'acqua e al fuoco.
– *Nathuraltem CA* è un pannello compatto e soffice, realizzato con fibra di canapa e una piccola percentuale di risulta di canapulo. È un materiale a bassissimo impatto ambientale e elevate capacità termiche, che lo rendono un eccellente isolante termico per la bioedilizia. Le sue proprietà di fonoassorbenza sono molto elevate, tanto da farne un materiale perfetto per opere di riduzione acustica.
– *CANAPALithos Clay 700* è ottenuto dall'unione della biomassa di canapa e di argilla (terra cruda). Il pannello di argilla presenta alte caratteristiche di traspirabilità e capacità igrotermiche, è impiegato come rivestimento interno in grado di garantire un microclima stabile e confortevole all'interno degli ambienti. È in grado di intervenire sul fattore di sfasamento e sull'attenuazione termica della parete, in quanto la terra cruda, è un perfetto regolatore dell'umidità, capace di contrastare la formazione di muffa e di neutralizzare, allo stesso tempo, gli odori, così da rendere l'aria più salubre. CANAPAlithos Clay 700 è un pannello non portante, che viene utilizzato su spessori elevati, caratterizzato da un bassissimo impatto ambientale, assenza totale di formaldeide, con ottima resistenza all'acqua e al fuoco. Presenta ottime caratteristiche di abbattimento acustico, massa attiva, schermo contro campi elettromagnetici, termo regolatore, è in grado di assorbire gli odori e risulta essere al 100% riciclabile e biologico.






Fonte: http://www.avnir.org/EN/

# 7. STUDIO LCA: DAI MATERIALI ALL'EDIFICIO. IL CASO STUDIO MAAC

Dopo aver parlato, in maniera ampia e approfondita, del tema in esame; dei principi che si vogliono seguire; degli obiettivi finali che si vogliono raggiungere; il passo successivo che si vuole intraprendere, riguarda l'analisi LCA di sei elementi tecnici d'involucro. In questa fase di sviluppo del lavoro, è stata fondamentale la collaborazione delle aziende sopra citate, che si sono rese disponibili a fornire i dati (partendo dalle materie prime fino al processo produttivo dei singoli prodotti) necessari per poter affrontare nel miglior modo lo studio del Life Cycle Assessment.

Nella fase iniziale, è stato preso in considerazione 1 kg di tutti i materiali che compongono i diversi elementi tecnici dell'edificio (tra cui pareti esterne, primo solaio, copertura, partizioni inverte e involucro trasparente), così da poterli confrontare. A supporto delle successive analisi, questo step, permette di osservare come varia l'impatto ambientale, se si considera un singolo materiale, o una stratigrafia d'involucro all'interno del quale è inserito.

Il passo successivo ha come finalità, il confronto degli elementi tecnici dell'edificio con i materiali precedentemente studiati, per stabilire quale tra questi risulti essere meno impattante nella fase di realizzazione. Al fine di un'adeguata comparazione, è stata stabilita un'unità funzionale, pari ad 1 $m^2$ di parete ed una trasmittanza di 0,20 $W/m^2k$.

I parametri presi come riferimento, sono strettamente legati all'obiettivo dell'analisi e , la loro definizione, risulta essere di estrema importanza affinché possa avvenire il confronto tra due o più sistemi in maniera coerente. Tuttavia, queste scelte, hanno comportato la modifica della stratigrafia originaria degli elementi tecnici, poiché è stato necessario intervenire su di essi in maniera puntale, al fine di raggiungere il risultato desiderato.
Dopo aver definito l'unità funzionale, sono stati stabiliti i "confini del sistema": la scelta è ricaduta sul processo di analisi che va "dalla culla al cancello". Generalmente si possono scegliere tra tre tipologie di confini del sistema: dalla culla al cancello, dalla culla alla tomba e dalla culla alla culla. Ognuna di queste fasi, racchiude al suo interno tutti i processi del ciclo di vita a cui è sottoposto il materiale.
Nel caso specifico, il prodotto in esame è stato analizzato nell'arco di vita che va dall'estrazione delle materie prime (la culla), alla realizzazione dello stesso in fabbrica (il cancello)[82].
Terzo aspetto da definire, prima di iniziare uno studio di LCA, è sicuramente quello della qualità delle informazioni. Come precedentemente affermato, essa è data: dalla precisione; dalla completezza; dalla rappresentatività; dalla consistenza e dalla riproducibilità. L'insieme di tutte queste caratteristiche, fa si che, alla fine dello studio, si ottengano risultati attendibili.
Esistono, tuttavia, due tipologie differenti di informazione che si possono individuare in questa analisi, ovvero: i dati "primari", informazioni ottenute da fonti dirette (nel caso specifico sono dati primari tutte le informazioni legate alle materie prime, ai quantitativi di prodotto utilizzati e al processo produttivo a cui questi sono sottoposti in fabbrica); i dati "secondari" sono quello ricavati da letteratura o da altre fonti (nel nostro caso i dati relativi a materiali scelti all'interno della banca dati Ecoinvent[83]).
Ci sono, inoltre, dei valori che risultano mancanti, in quanto, è di estrema difficoltà il loro reperimento.

Una volta stabiliti tutti i principi necessari per poter affrontare un analisi LCA, ci si è dedicati alla fase centrale di tutto il progetto: il calcolo dell'impatto ambientale. Per far ciò, è stato utilizzato il programma SimaPro, adatto per lo studio e la verifica della sostenibilità di un prodotto. Questo è un software basato sulla composizione di "scatole", che partendo dal singolo materiale, da la possibilità di calcolare un impatto ambientale a scala dell'edificio.
Il primo aspetto, sicuramente più lungo e complesso, è stato quello di ricreare all'interno del software, tutti i materiali interessati che compongono gli elementi tecnici. In alcuni casi, è stato possibile riprenderli direttamente dalla banca dati Ecoinvent, in altri, invece, è stato necessario crearli nuovamente, sulla base dei dati diretti, reperiti durante la fase preliminare dello studio.

82 Tutte le fasi che caratterizzano un prodotto dopo la sua realizzazione in fabbrica non sono state incluse nel nostro studio.
83 La banca dati Ecoinvent, si trova all'interno del software di calcolo SimaPro, che abbiamo utilizzato per portare avanti la nostra ricerca. La sua consultazione è risultata fondamentale nel momento in cui non eravamo in possesso di informazioni relative allo sviluppo di alcuni materiali.



In seguito, si è passati all'"assemblaggio", che ha permesso di comporre, in maniera effettiva, gli elementi tecnici di involucro da analizzare.
In seguito, è stata svolta la valutazione degli impatti, sia dei singoli materiali, sia dei singoli elementi tecnici, riferiti al $m^2$ di parete che degli elementi tecnici riferiti alla scala dell'edificio su cui poi andranno applicati.
Nello specifico, i due valutatori di impatto scelti sono il Global Warming Potential[84] a 100 anni (IPCC GWP 100a) e il Cumulative Energy Demand[85] (C.E.D.), con i quali è possibile stabilire l'incidenza di ogni componente oggetto di studio.
Di seguito si riporta lo studio LCA dai singoli materiali all'edificio in esame.

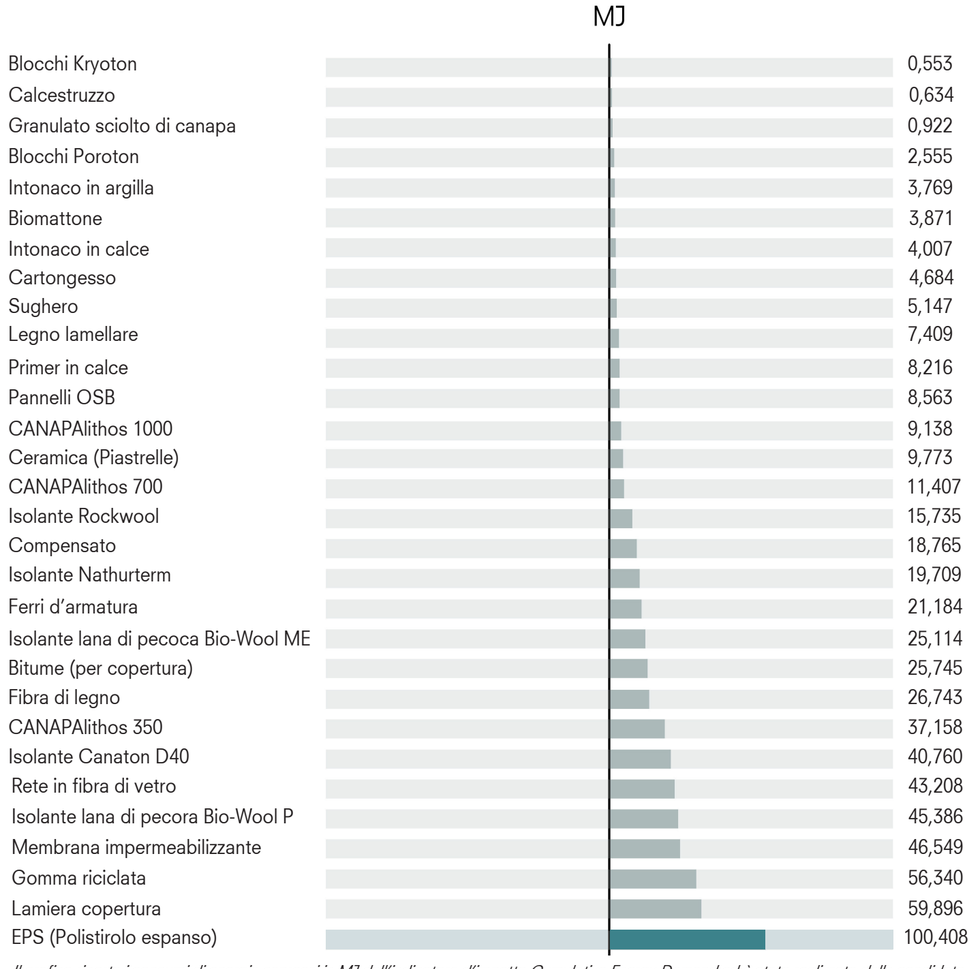
84 Il GWP è un indicatore di impatto ambientale relativo all'effetto serra e viene calcolato tenendo conto delle sostanze emesse in aria, nello specifico tutte quelle sostanze che contribuiscono al potenziale di riscaldamento globale del pianeta terra.
85 Il C.E.D. è un indicatore dell'impatto ambientale che permette di quantificare l'energia sottratta alla natura e immagazzinata nella realizzazione di un prodotto, valutando tutti i consumi energetici di un processo produttivo e nello specifico: l'energia non rinnovabile, fossile; l'energia non rinnovabile, nucleare; l'energia rinnovabile, biomasse; l'energia rinnovabile, eolica, geotermica e solare; l'energia rinnovabile, idroelettrica; ed è espressa in MJ. Purtroppo però questo indicatore non riesce a fornire in modo esaustivo l'effettivo carico ambientale di un sistema produttivo e per questo deve necessariamente essere affiancato da altri sistemi di valutazione.

## 7.1 L'analisi LCA dei singoli materiali oggetto di studio

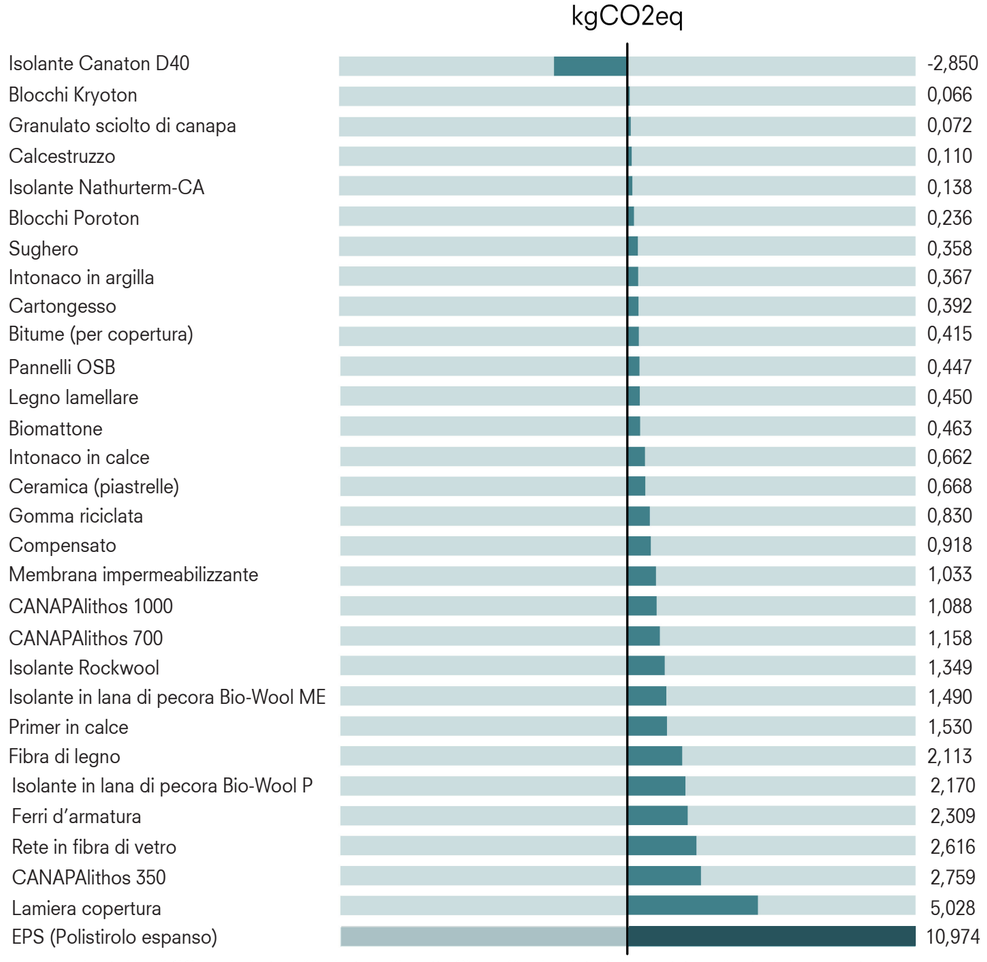
Come precedentemente affermato, questa fase riguarda il confronto e la valutazione dei singoli materiali utilizzati in ambito di tesi, riferiti ad un'unità di peso pari ad 1kg. Dalla comparazione, avvenuta rispetto a due indicatori di impatto, precedentemente stabiliti, sono emersi risultati differenti da quanto atteso, come si evince dai grafici di seguito riportati.

La valutazione degli impatti riferiti al Cumulative Energy Demand, tiene in considerazione, unicamente, delle energie non rinnovabili dei singoli materiali. Questa scelta è conseguenza del fatto che, tra i prodotti selezionati, sono presenti materiali naturali che riportano elevati valori di consumo di risorse rinnovabili, come la biomassa, utilizzata come fonte di energia. Escluderle dal calcolo, ha permesso di non sottostimare il valore effettivo dei consumi energetici richiesti per la fase di produzione.
Al contrario di quanto ci si aspetti, la produzione dei materiali di origine naturale, non prevede sempre l'impiego del minimo quantitativo di energia, ma varia in relazione alla tipologia dei processi a cui è sottoposto. Infatti, se si osserva, per esempio, l'energia necessaria per la realizzazione di 1 kg di calcestruzzo, si può notare come questa sia nettamente inferiore rispetto al consumo di energia richiesto per la produzione di 1 kg di legno lamellare. Ciò è strettamente connesso ai processi di reperimento, di trasporto e lavorazione di quest'ultimo, per ottenere un prodotto finale con più elevate prestazioni.
Un'altra differenza messa in luce dal grafico, si riscontra osservando i consumi di energia dei blocchi Kryoton e dei blocchi Poroton. In questo caso, sebbene la materia prima sia la stessa, il processo per la realizzazione dei blocchi risulta essere differente, in quanto i primi non sfruttano energia termica, a differenza dei secondi che vengono cotti in forno.
I consumi di energie per la realizzazione di materiali isolanti naturali, presentano valori piuttosto differenti, in ragione delle modalità necessarie per la loro realizzazione, che variano a seconda della tipologia del prodotto. Tuttavia, un evidente differenza, si nota se si confronta l'impatto ambientale degli isolanti naturali con uno di tipo sintetico, quali il polistirolo espanso (EPS), che richiede, in fase di produzione, l'impiego di un elevato quantitativo di risorse non rinnovabili.

Per quanto riguarda l'indicatore di impatto Global Warming Potential, sono stati calcolati i kg di $CO_2$ equivalente, calcolati attraverso. Ciò che emerge dai risultati, è l'evidente divario tra i materiali utilizzati in ambito di tesi e quello scelto per il confronto (EPS), poiché i valori riferiti ai primi, risultano essere nettamente inferiori rispetto al secondo. Si evidenzia come, i prodotti a base canapa, sebbene stiano prendendo sempre più piede all'interno del mercato edilizio, presentano valori di $CO_2$ equivalente rilevanti, nonostante la loro capacità di assorbimento dell'anidride carbonica. Fa eccezione l'isolante Canaton D40 a base canapa, prodotto dall'azienda Ton Gruppe, che sfrutta questa capacità per ottenere valori di $CO_2$ equivalente negativi.




*Il grafico riporta i consumi di energia espressi in MJ dell'indicatore d'impatto Cumulative Energy Demand ed è stato realizzato dalle candidate.*

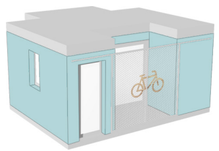



*Il grafico riporta i kg di $CO_2$ equivalente dell'indicatore d'impatto Global Warming Potential ed è stato realizzato dalle candidate.*

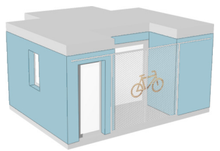
## 7.2 L'analisi LCA degli elementi d'involucro edilizio

Il passo successivo all'analisi dei singoli materiali oggetto di tesi, prevede la valutazione degli impatti ambientali, dagli elementi della stratigrafia, all'elemento tecnico da essi composto. Come già anticipato, la finalità dello studio mira a ricercare l'elemento tecnico di involucro opaco meno impattante, realizzato con materiali "green", a confronto con uno di riferimento costituito da materiali tradizionali. A fronte dell'obiettivo finale di tesi, si specifica che le analisi sono state effettuate prendendo come riferimento il modulo MAACC, come originariamente definito, e facendo variare la stratigrafia delle pareti perimetrali esterne.

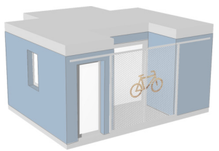
Di seguito sono riportate le singole valutazioni, ciascuna per ogni elemento tecnico analizzato.



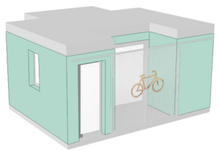
Elemento tecnico con struttura a telaio, isolante in fibra di legno



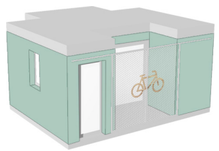
Elemento tecnico con struttura a telaio, isolante in fibra di legno e sughero



Elemento tecnico con struttura a telaio, isolante in canapa e argilla



Elemento tecnico con struttura a telaio, isolante in canapa e blocchi Kryoton



Elemento tecnico con struttura a telaio, isolante in sughero e blocchi in biomattone

Elemento tecnico con struttura in calcestruzzo armarto, blocchi Poroton e isolante in lana di roccia



### 7.2.1 Elemento tecnico con struttura portante a telaio e isolante in fibra di legno

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.095 (W/m$^2$K) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 (W/m$^2$K) |
| Sfasamento ($\phi$) | 8.91 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [kg/m$^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [kg/m$^2$] | Resistenza invernale [m$^2$K/W] | Resistenza estiva [m$^2$K/W] | Trasmittanza termica [W/m$^2$K] | Trasmittanza termica periodica [W/m$^2$K] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonachino pregiato in argilla | 0.01 | 1400 | 0.7 | 930 | 7 | 14 | 0.014 | 0.014 | 5.425 | 5.424 | 0.13 |
| Cartongesso | 0.013 | 1150 | 0.32 | 1100 | 13 | 15 | 0.041 | 0.041 | 4.783 | 4.779 | 0.18 |
| Fibra di legno | 0.03 | 50 | 0.038 | 2100 | 5 | 1.5 | 0.789 | 0.789 | 1.042 | 1.042 | 0.16 |
| Tavole OSB | 0.01 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 6.5 | 0.077 | 0.077 | 4.05 | 4.048 | 0.16 |
| Fibra di legno | 0.12 | 50 | 0.038 | 2100 | 5 | 6 | 3.158 | 3.158 | 0.3 | 0.285 | 1.99 |
| Tavole OSB | 0.01 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 6.5 | 0.077 | 0.077 | 4.05 | 4.048 | 0.16 |
| Fibra di legno | 0.025 | 110 | 0.038 | 2100 | 3 | 2.8 | 0.658 | 0.658 | 1.208 | 1.207 | 0.26 |
| Adesivo rasante | 0.008 | 1350 | 1000 | 1130 | 9 | 10.8 | 0 | 0 | 5.618 | 5.616 | 0.11 |
| Intonaco in calce | 0.002 | 1800 | 0.9 | 1000 | 1 | 3.6 | 0.002 | 0.002 | 5.806 | 5.806 | 0.03 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico, vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

## Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro

L'elemento tecnico in fibra di legno è caratterizzato principalmente, da una struttura portante realizzata secondo il principio del "Suteki Wood System" e dalla fibra di legno come unico materiale isolante, affiancato da tavole OSB per il sostegno della parete. Esso, è rivestito esternamente con intonaco in calce, mentre, all'interno, presenta uno strato di cartongesso e intonaco di rifinitura in argilla.

## Descrizione dell'isolante in fibra di legno

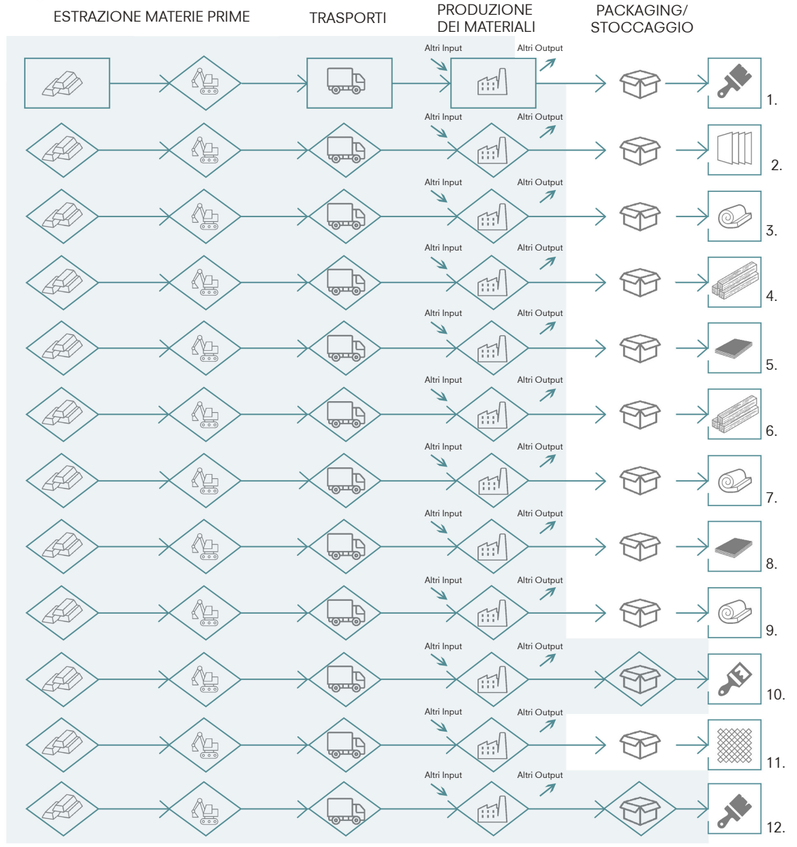
Principalmente, i prodotti in fibra di legno vengono realizzati con materiale di scarto che si ottiene dalla lavorazione del legname all'interno delle segherie, oppure dalla ripulitura dei boschi.
Si tratta di un prodotto che basa la sua composizione su un materiale rinnovabile, quale il legno, che presenta un basso impatto ambientale in relazione ai ridotti consumi energetici  e alle limitate emissioni in ambiente, a seguito dei processi di lavorazione.
I pannelli in fibra di legno possiedono notevoli proprietà di isolamento, sia acustico che termico, e presentano una maggiore capacità di accumulo di calore, grazie ad un elevato calore specifico, che in estate, consente di preservare l'ambiente indoor dal caldo.
In generale, i pannelli in fibra di legno sono riciclabili, come combustibile, oppure riutilizzabili, mentre gli scarti dei pannelli possono essere impiegati come materiali per altri pannelli isolanti e risultano essere compostabili e biodegradabili.

## La tipologia dei dati

I dati utilizzati per la ricostruzione dell'elemento tecnico all'interno di SimaPro, sono dati di origine secondaria, in quanto non è stato possibile entrare in possesso di dati primari direttamente dalle aziende. I prodotti impiegati che caratterizzano tale parete, rispettano tutte le caratteristiche dei materiali scelti, nonostante siano stati selezionati all'interno della banca dati Ecoinvent, ad eccezione dell'intonaco in argilla che risulta essere un dato primario. In questo caso, dunque, è stato necessario ricercare all'interno del software, tutti i materiali interessati. Successivamente, per ognuno di essi, è stato calcolato il quantitativo di prodotto presente all'interno di 1 $m^2$ di parete, che rappresenta l'unità funzionale di riferimento, così da poter ottenere un risultato finale quanto più possibile veritiero.



## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Intonaco in argilla
2.Cartongesso
3.Fibra di legno
4.Struttura in legno
5.Tavole OSB
6.Struttura in legno
7.Fibra di legno
8.Tavole OSB
9.Fibra di legno
10.Adesivo rasante in calce
11.Rete in fibra di vetro
12.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

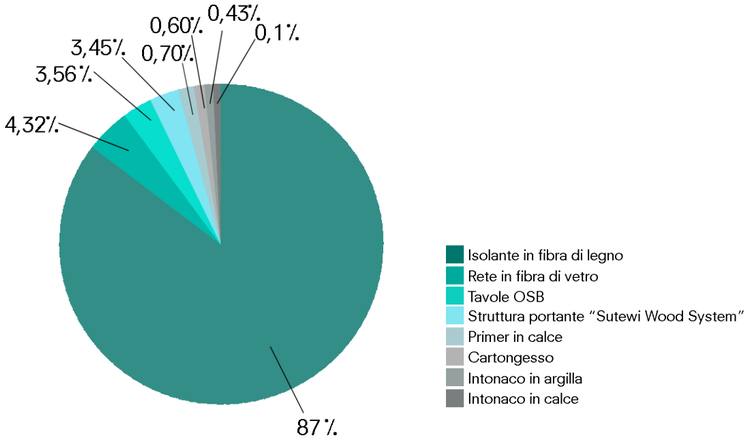
Dati primari

Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate

## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali




Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, l'isolante in fibra di legno risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova la rete in fibra di vetro, le tavole OSB, la struttura portante, il primer in calce, il cartongesso, l'intonaco in argilla e l'intonaco in calce.

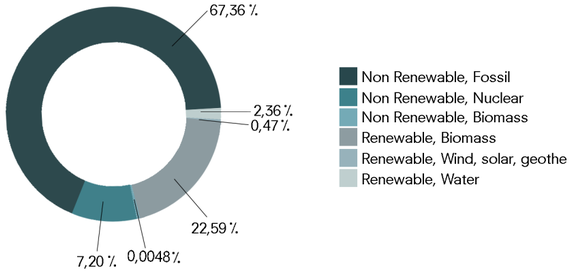
Il seguente grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate.



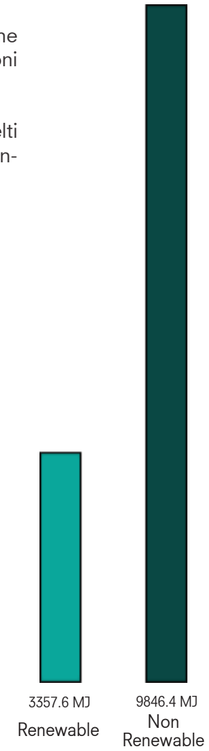
## La valutazione finale

La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al $m^2$ di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 9846.4 |
| Totale Renewable | MJ | 3357.6 |
| | | |
| IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 774.364577 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

### 7.2.2 Elemento tecnico con struttura portante a telaio e isolante in sughero bruno e fibra di legno

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.103 (W/m$^2$K) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 (W/m$^2$K) |
| Sfasamento ($\phi$) | 8.50 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [kg/m$^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [kg/m$^2$] | Resistenza invernale [m$^2$K/W] | Resistenza estiva [m$^2$K/W] | Trasmittanza termica [W/m$^2$K] | Trasmittanza termica periodica [W/m$^2$K] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonachino pregiato in argilla | 0.01 | 1400 | 0.7 | 930 | 7 | 14 | 0.014 | 0.014 | 5.521 | 5.517 | 0.17 |
| Cartongesso | 0.013 | 1150 | 0.32 | 1100 | 13 | 15 | 0.041 | 0.041 | 4.783 | 4.779 | 0.18 |
| Fibra di legno | 0.03 | 50 | 0.038 | 2100 | 5 | 1.5 | 0.789 | 0.789 | 1.042 | 1.042 | 0.16 |
| Tavole OSB | 0.01 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 6.5 | 0.077 | 0.077 | 4.05 | 4.048 | 0.16 |
| Fibra di legno | 0.12 | 50 | 0.038 | 2100 | 5 | 6 | 3.158 | 3.158 | 0.3 | 0.285 | 1.99 |
| Tavole OSB | 0.01 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 6.5 | 0.077 | 0.077 | 4.05 | 4.048 | 0.16 |
| Sughero | 0.02 | 110 | 0.036 | 1900 | 20 | 2.2 | 0.556 | 0.556 | 1.378 | 1.378 | 0.17 |
| Adesivo rasante | 0.008 | 1350 | 1000 | 1130 | 9 | 10.8 | 0 | 0 | 5.618 | 5.616 | 0.11 |
| Intonaco in calce | 0.002 | 1800 | 0.9 | 1000 | 1 | 3.6 | 0.002 | 0.002 | 5.785 | 5.785 | 0.02 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Il seguente grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate.



**Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro**

L'elemento tecnico in esame presenta due tipologie di materiale isolante: la prima è la fibra di legno e il secondo, corrisponde al sughero. I dati relativi a quest'ultimo materiale sono stati forniti dall'azienda Tecnosugheri.

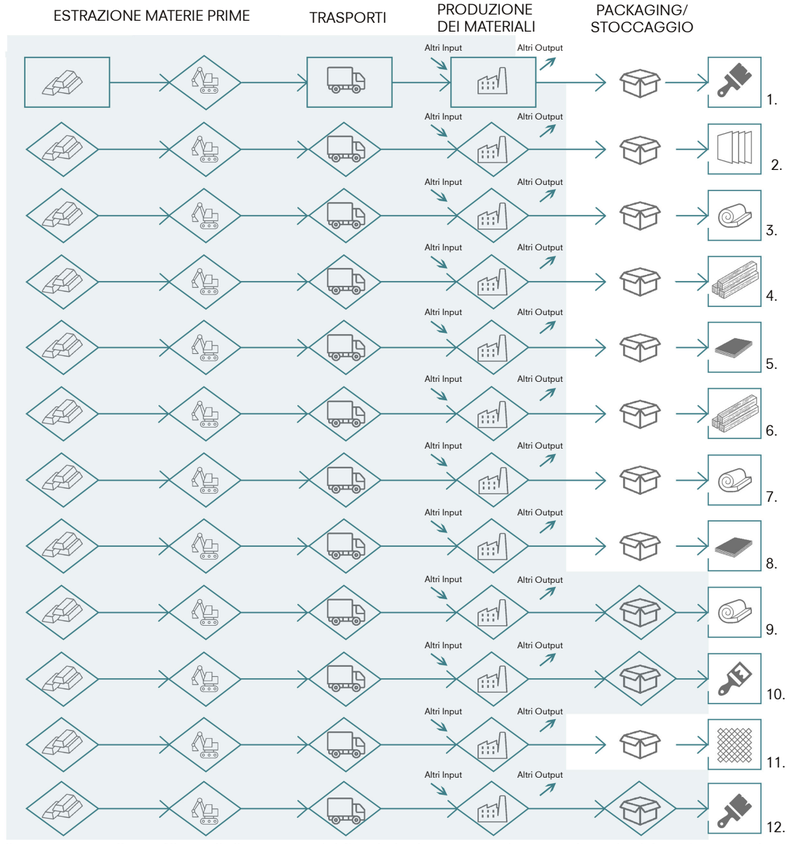
**Descrizione dell'isolante in sughero bruno**

La prima fase a cui viene sottoposto è la stagionatura, che avviene all'esterno, dove il contatto con gli agenti atmosferici causa delle trasformazioni fisiche che migliorano la qualità e ne facilitano la lavorazione. Superata questa fase, il sughero viene triturato attraverso macchine apposite, ottenendo il granulato per la realizzazione dei pannelli. Successivamente viene sottoposto ad un processo termico di tostatura che avviene ad una temperatura di circa 370 °C e alla pressione di 0.5 bar. In questo modo il materiale stesso rilascia una sostanza che prende il nome di suberina (resina naturale) che permette l'agglomerazione dei granuli di sughero. Una volta ottenuti i blocchi, questi vengono lasciati a raffreddare attraverso il processo di iniezione di acqua ad una temperatura di circa100 °C, per poi essere sottoposti alla fase di stabilizzazione per una durata di 6-7 giorni. Infine, si procede con la rettifica dei blocchi secondo le dimensioni desiderate per poi essere imballate e stoccate, pronte per la spedizione.

**La tipologia dei dati**

I dati utilizzati per la ricostruzione dell'elemento tecnico all'interno di SimaPro, sono dati di origine secondaria per quanto riguarda la fibra di legno e le tavole OSB, mentre per il sughero, è risultato difficoltoso utilizzare il materiale proposto dal programma, in quanto risultava essere molto differente da quello considerato per lo studio. La soluzione più ragionevole, è risultata essere quella di utilizzare un valore di letteratura riferita al consumo di energia primaria necessaria alla realizzazione di un pannello in sughero. Questa informazione è stata ripresa da un analisi LCA fornita direttamente dall'azienda Tecnosugheri.
Per quanto riguarda i dati dell'intonaco in argilla, anche in questo caso risulta essere un dato primario.

## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Intonaco in argilla
2.Cartongesso
3.Fibra di legno
4.Struttura in legno
5.Tavole OSB
6.Struttura in legno
7.Sughero bruno autocollato
8.Tavole OSB
9.Fibra di legno
10.Adesivo rasante in calce
11.Rete in fibra di vetro
12.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

Dati primari

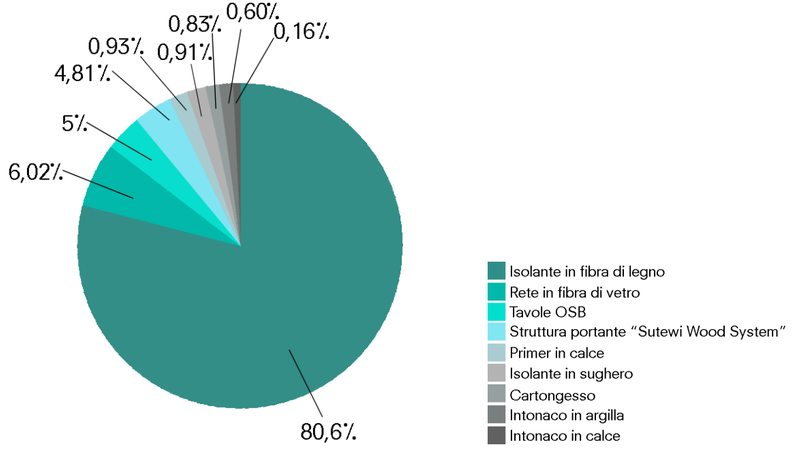
Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate



## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali



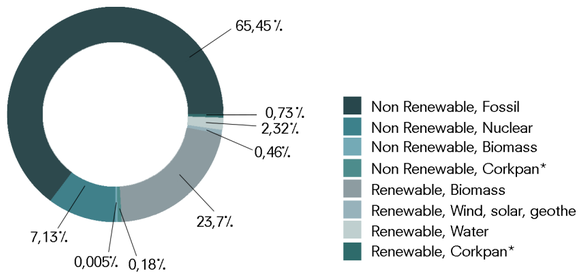

Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, l'isolante in fibra di legno risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova la rete in fibra di vetro, le tavole OSB, la struttura portante, il primer in calce, l'isolante in sughero, il cartongesso, l'intonaco in argilla e l'intonaco in calce.

Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

**La valutazione finale**

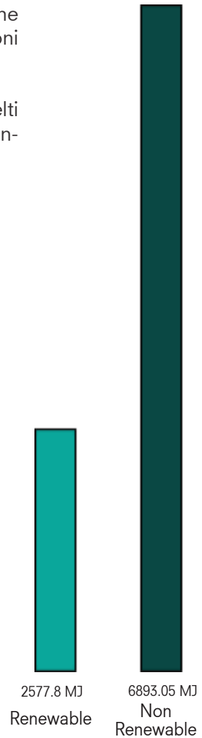
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al $m^2$ di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




*Il valore del Corkpan per il consumo di risorse non rinnovabili e rinnovabili, ci è stato fornito dall'azienda Tecnosugheri s.r.l., che ha svolto essa stessa un'analisi LCA sul suo prodotto.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 6893.05 |
| Totale Renewable | MJ | 2577.8 |
| | | |
| Totale IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 540.761 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



## 7.2.3 Elemento tecnico con struttura portante a telaio e isolante in canapa e argilla

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.032 ($W/m^2K$) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 ($W/m^2K$) |
| Sfasamento ($\phi$) | 13.97 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [$kg/m^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [$kg/m^2$] | Resistenza invernale [$m^2K/W$] | Resistenza estiva [$m^2K/W$] | Trasmittanza termica [$W/m^2K$] | Trasmittanza termica periodica [$W/m^2K$] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonachino pregiato in argilla | 0.01 | 1400 | 0.7 | 930 | 7 | 14 | 0.014 | 0.014 | 5.521 | 5.517 | 0.17 |
| CANAPAlithos Clay 700 | 0.014 | 700 | 0.129 | 1700 | 12 | 9.8 | 0.109 | 0.109 | 3.59 | 3.585 | 0.27 |
| Nathuralterm CA | 0.04 | 30 | 0.04 | 1700 | 1 | 1.2 | 1 | 1 | 1.087 | 1.087 | 0.08 |
| CANAPAlithos 1000 | 0.015 | 1000 | 0.165 | 1700 | 23 | 15 | 0.091 | 0.091 | 3.833 | 3.82 | 0.39 |
| Granulato sciolto | 0.18 | 218 | 0.05 | 1500 | 7 | 39.2 | 3.6 | 3.6 | 0.265 | 0.119 | 8.07 |
| CANAPAlithos 350 | 0.015 | 350 | 0.9 | 1700 | 7 | 5.3 | 0.017 | 0.017 | 2.97 | 2.969 | 0.18 |
| Adesivo rasante | 0.008 | 1350 | 1000 | 1130 | 9 | 10.8 | 0 | 0 | 5.618 | 5.616 | 0.11 |
| Intonaco in calce | 0.002 | 1800 | 0.9 | 1000 | 1 | 3.6 | 0.002 | 0.002 | 5.785 | 5.785 | 0.02 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate

## Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro

L'elemento tecnico in esame è composto principalmente da canapa, all' interno del quale si individuano cinque dei materiali commercializzati dall' azienda CMF Greentech: Canapalithos 350; Granulato sciolto di canapa; Canapalithos 1000; Nathurtherm CA; Clay 700.

## Descrizione dei prodotti in canapa

La canapa è da sempre stata utilizzata come materiale isolante, perché facilmente reperibile e completamente naturale, ma anche perché presenta delle ottime proprietà termo acustiche. Risulta essere un prodotto altamente traspirante e facilita la regolazione dell'umidità all'interno degli ambienti. Essa, inoltre, è un materiale non soggetto all'attacco della muffa, di parassiti e roditori, è un prodotto ecologico che non causa danni alla salute né in fase di produzione, né in fase di messa in opera.

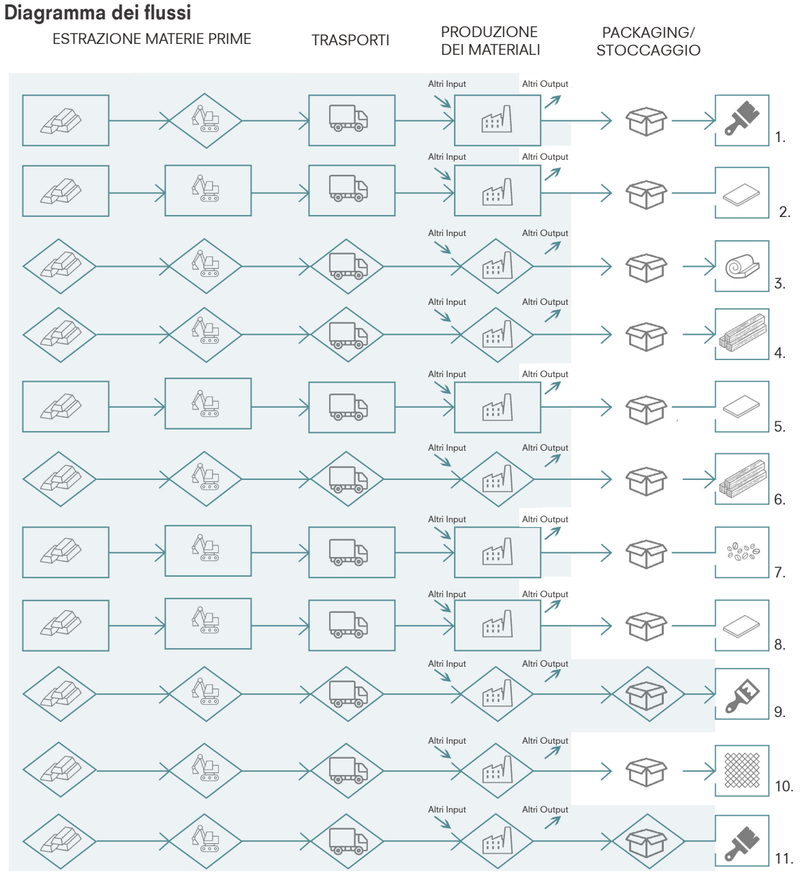
## La tipologia dei dati

La ricostruzione dell'elemento tecnico in canapa e argilla all'interno del software SimaPro, si è rivelata tra le più complesse. Causa principale, è la mancanza del codice relativo alla canapa, in quanto si ritiene essere un prodotto che, soltanto di recente, si sta sviluppando sul mercato. Per questo motivo, è stato creato un nuovo "codice canapa" partendo da uno già realizzato nel 2016, da un gruppo di professori del Politecnico di Torino, per uno studio[86] circa l'impatto ambientale di pannelli in canapa, richiesto dall'azienda Assocanapa a Carmagnola (TO). La possibilità di ricreare un materiale completamente nuovo da inserire all'interno della banca dati del programma, è stata un'occasione per acquisire maggiori competenze e più consapevolezza dell'onerosità delle analisi svolte. Ciò, infatti, ha permesso di apprendere quanto la precisione e la coerenza del trattamento dei dati da utilizzare, siano la base per il raggiungimento di un risultato finale attendibile e preciso.
In questo caso, dunque, i dati inseriti per la realizzazione dell'elemento tecnico su SimaPro sono di origine primaria, ovvero riferiti interamente a valori e processi ottenuti dall'azienda stessa. L'unica eccezione è per il pannello Nathurtherm-CA, di cui è pervenuta solamente l'analisi LCA di pannello condotta dall'azienda di riferimento.

86 La suddetta ricerca è stata pubblicata all'interno della rivista "Energy Procedia 111 (2017)" è tratta della realizzazione di pannelli Fitness (Fibre Tessili Naturali per l'Edilizia Sostenibile) a base di lana di pecora e canapa per l'isolamento sostenibile. La ricerca è stata portata avanti dai professori: Pennacchio R., Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S.



## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Intonaco in argilla
2.Canapalithos Clay 700
3.Isolante Naturtherm-ca
4.Struttura in legno
5.Canapalithos 1000
6.Struttura in legno
7.Granulato sciolto di canapa
8.Canapalithos 350
9.Adesivo rasante in calce
10.Rete in fibra di vetro
11.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

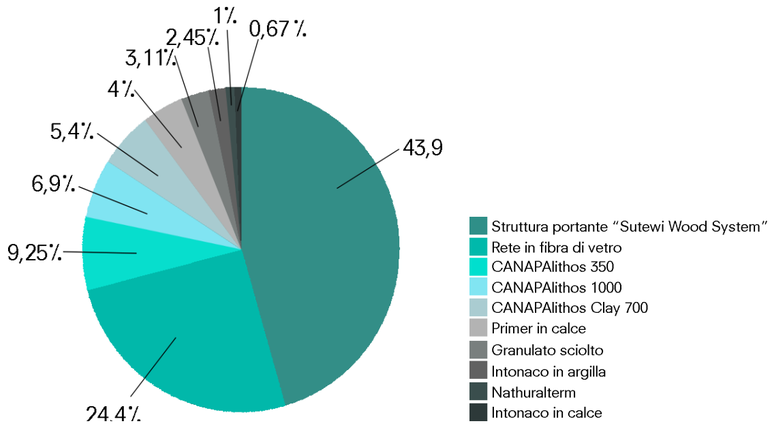
Dati primari

Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate

## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali




Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, la struttura portante in legno risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova la rete in fibra di vetro, il Canapalitho 350, il Canapalithos 1000, il Canapalithos clay 700, il primer in calce, granulato sciolto in canapa, l'intonaco in argilla, Nathurtherm-CA e l'intonaco in calce.

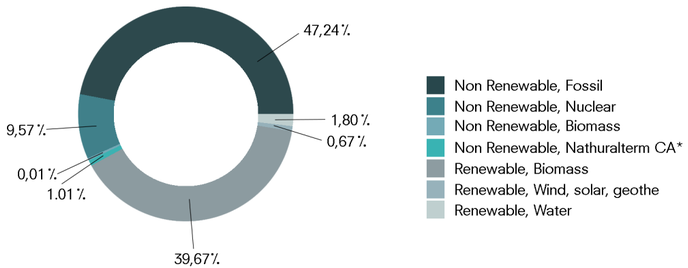
I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

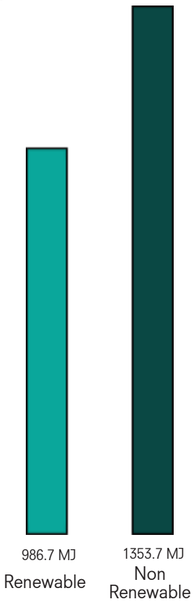


## La valutazione finale

La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al $m^2$ di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




*Il valore del Nathuralterm CA per il consumo di risorse non rinnovabili ci è stato fornito dall'azienda Equilibrium, che ha svolto essa stessa un'analisi LCA sul suo prodotto.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 1353.729 |
| Totale Renewable | MJ | 986.7238 |
| | | |
| Totale IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 111.2317 |

I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

## 7.2.4 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, blocchi Kryoton e isolante in canapa

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.012 ($W/m^2K$) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 ($W/m^2K$) |
| Sfasamento ($\phi$) | 19.66 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [$kg/m^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [$kg/m^2$] | Resistenza invernale [$m^2K/W$] | Resistenza estiva [$m^2K/W$] | Trasmittanza termica [$W/m^2K$] | Trasmittanza termica periodica [$W/m^2K$] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonachino pregiato in argilla | 0.01 | 1400 | 0.7 | 930 | 7 | 14 | 0.014 | 0.014 | 5.521 | 5.517 | 0.17 |
| Blocchi Kryoton 120 | 0.12 | 1450 | 0.428 | 1100 | 10 | 174 | 0.28 | 0.28 | 2.22 | 1.618 | 4.33 |
| Canaton D40 | 0.17 | 40 | 0.04 | 2300 | 2 | 6.8 | 4.25 | 4.25 | 0.226 | 0.132 | 6.47 |
| Blocchi Kryoton 120 | 0.12 | 1450 | 0.428 | 1100 | 10 | 174 | 0.28 | 0.28 | 2.22 | 1.618 | 4.33 |
| Intonaco in calce | 0.1 | 1800 | 0.9 | 1000 | 1 | 3.6 | 0.002 | 0.002 | 5.521 | 5.517 | 0.17 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.



**Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro**

L'elemento tecnico in questione, è composto da dei blocchi realizzati con l'argilla, separati da un isolante in canapa. Le materie prime utilizzate per la creazione di questi mattoni sono: l'argilla, la lolla e l'acqua, che vengono accuratamente lavorate insieme per dar vita ai blocchi.

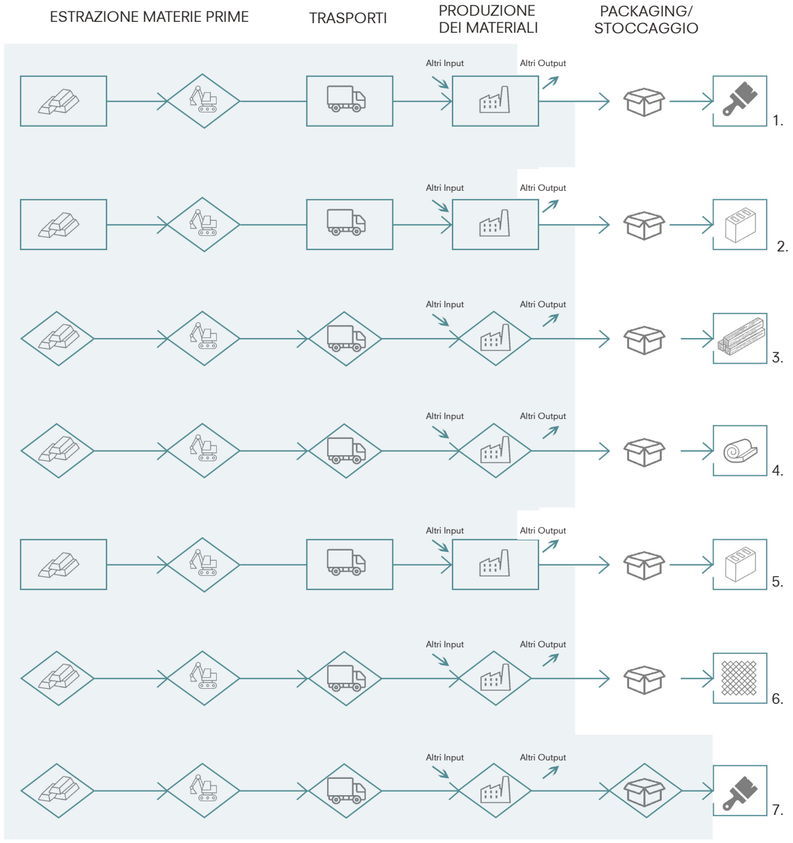
**Decsrizione dei blocchi Kryoton**

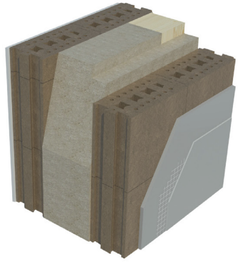
Il processo produttivo, parte dall'approvvigionamento delle materie prime e quindi dell'argilla (estratta da una cava nei pressi dell'azienda dove vengono prodotti i blocchi) e la lolla di riso (che viene importata dalla provincia di Vercelli). Il processo per la realizzazione dei blocchi risulta essere completamente meccanizzato, quindi le materie prime vengono inizialmente ripulite dalle pietre e dagli elementi esterni, poi l'argilla viene setacciata e successivamente, argilla e lolla vengono unite all'acqua. Dopo la fase di estrusione dei mattoni, questi vengono tagliati in base alle dimensioni stabilite e lasciati ad essiccare. Questa fase ha una durata che varia da una settimana ad un mese, in relazione alle condizioni climantiche esterne.
Una volta ottenuto il mattone, prima di essere imballato, questo viene sottoposto alla rettifica delle facce forate così da agevolare la sovrapposizione in fase di costruzione. Per finire, i blocchi vengono imballati e stoccati all'interno del deposito.

**La tipologia dei dati**

In questo particolare caso, sul database del software, risultava mancante il materiale da associare ai blocchi in argilla Kryoton. Per tale ragione, è stato realizzato un codice completamente nuovo sulla base dai dati personalmente acquisiti, in merito alla fase di estrazione delle materie prime, trasporto e lavorazione dei mattoni in argilla.
Per quanto riguarda l'assemblaggio dei componenti dell'elemento tecnico di involucro all'interno del software, risultavano mancanti anche i valori relativi all' isolante Canaton D40, i quali sono stati forniti direttamente dall'azienda Ton Gruppe, che aveva precedentemente effettuato uno studio LCA sul prodotto in esame.
Dunque, si può affermare che, ad eccezione del materiale isolante che è un dato secondario, le restanti informazioni sono di origine primaria.

## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Intonaco in argilla
2.Mattoni in argilla Kryoton
3.Struttura in legno
4.Isolante in fibra di canapa
5.Mattoni in argilla Kryoton
6.Rete in fibra di vetro
7.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

Dati primari

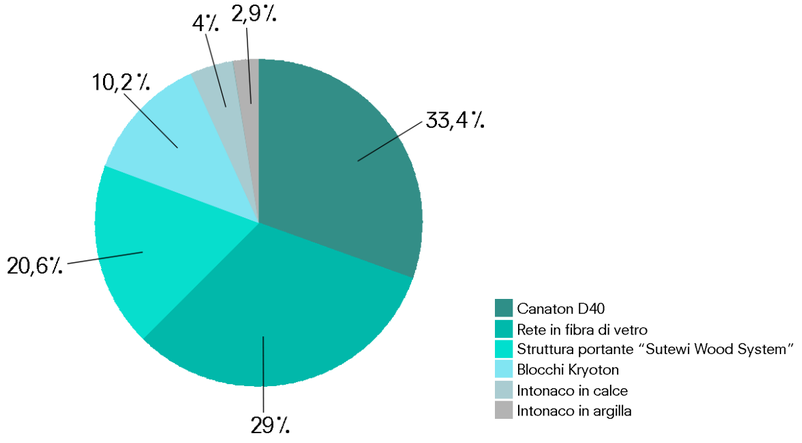
Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate



## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali

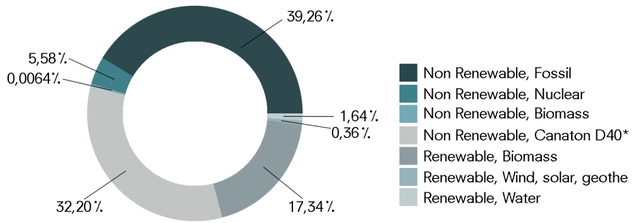



Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. In questo caso, l'isolante Canaton D40 risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Ciò è conseguente all'elevato quantitativo di materiale isolante utilizzato per raggiungere il valore di trasmittanza pari a 0,20 $W/m^2K$. Di seguito si ritrova la rete in fibra di vetro, la struttura portante in legno, i blocchi Kryoton, l'intonaco in argilla, e l'intonaco in calce.

Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

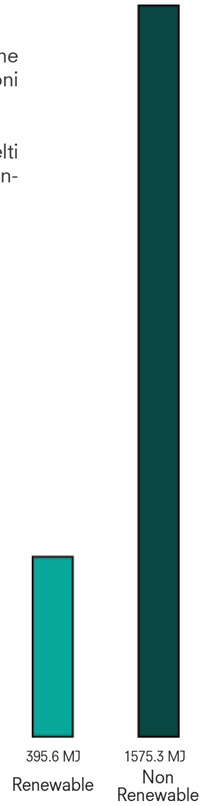
**La valutazione finale**
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al m² di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




*Il valore del Canaton D40 per il consumo di risorse non rinnovabili ci è stato fornito dall'azienda Ton Gruppe, che ha svolto essa stessa un'analisi LCA sul suo prodotto.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-Renewable | MJ | 1575.387 |
| Totale Renewable | MJ | 395.5931 |
| | | |
| Totale IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 30.28542 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



## 7.2.5 Elemento tecnico con struttura portante a telaio, Biomattone e isolante in sughero

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.007 (W/m²K) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 (W/m²K) |
| Sfasamento (ϕ) | 20.57 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [kg/m³] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza invernale [m²K/W] | Resistenza estiva [m²K/W] | Trasmittanza termica [W/m²K] | Trasmittanza termica periodica [W/m²K] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonachino pregiato in argilla | 0.01 | 1400 | 0.7 | 930 | 7 | 14 | 0.014 | 0.014 | 5.521 | 5.517 | 0.17 |
| Biomattone | 0.3 | 330 | 0.07 | 1870 | 5 | 99 | 4.286 | 4.286 | 0.224 | 0.013 | 18.23 |
| Sughero | 0.019 | 110 | 0.036 | 1900 | 20 | 2.1 | 0.528 | 0.528 | 1.433 | 1.433 | 0.15 |
| Adesivo rasante | 0.008 | 1350 | 1000 | 1130 | 9 | 10.8 | 0 | 0 | 5.618 | 5.616 | 0.11 |
| Intonaco in calce | 0.002 | 1800 | 0.9 | 1000 | 1 | 3.6 | 0.002 | 0.002 | 5.785 | 5.785 | 0.02 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate

## Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro

L'elemento tecnico di involucro in esame realizzato con materiali innovativi è quello composto dal Biomattone e il sughero.

## Descrizione del Biomattone

I blocchi in Biomatttone sono degli elementi che stanno prendendo sempre più piede all'interno del panorama edilizio. Questo è un materiale composto da due materie prime, la calce e la canapa, perfettamente in equilibrio tra di loro. Il ciclo produttivo per la realizzazione dei blocchi è abbastanza articolato: inizia con la fase di trasporto delle materie prime acquisite e trasportate in fabbrica dove sono sottoposte a processi di formazione della miscela in calce e canapa. Una volta terminata la fase di miscelazione, il biocomposito, che diventerà successivamente il Biomattone, viene inviato attraverso un nastro trasportatore alla fase successiva di lavorazione, ovvero la pressatura. Questa, da vita al blocco che viene disposto sistematicamente su dei ripiani e lasciato a maturare, così da poter ottenere la giusta consistenza del materiale. La maturazione è un processo che avviene grazie allo sfruttamento dell'aria naturale, senza consumo di risorse non rinnovabili. Inoltre gli scarti che vengono prodotti dalla realizzazione del materiale, vengono reinseriti nel ciclo di produzione come materiale di input, non provocando, in questo modo, impatti ambientali in fase di smaltimento. Durante la fase di maturazione, il blocco in calce e canapa perde circa metà del suo peso iniziale, ed è successivamente pronto per l'imballaggio.

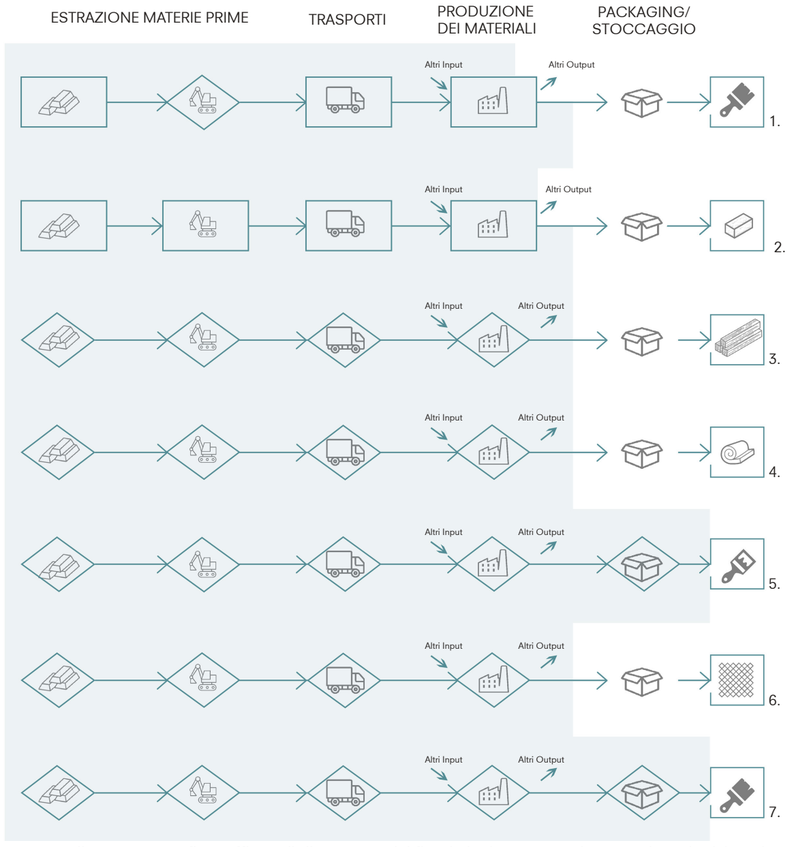
## La tipologia dei dati

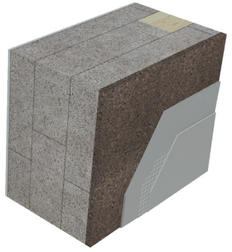
Per creare il Biomattone, è risultato difficile recuperare un codice interno al programma che rispondesse alle sue caratteristiche. Questo non è solo dovuto ad un mancato aggiornamento del software SimaPro, che possiede una banca dati circoscritta a prodotti principalmente tradizionali, ma anche perché non vi è stata la possibilità di reperire una delle materie prime, quali il canapulo, in quanto, derivante dalla canapa, risultava essere escluso dal set di dati a cui ci si è riferiti. Si ricorda, infatti, che quest'ultima, è stata totalmente ricreata con i dati acquisiti dall'azienda che commercializza il prodotto. Dunque, per realizzare il "materiale Biomattone", è stato necessario riscrivere il codice del canapulo ripreso dallo studio[87] fatto dal Politecnico di Torino per l'azienda Assocanapa di Carmagnola (TO). Una volta terminata la definizione del prodotto, è stato seguito lo stesso percorso svolto per tutti gli altri materiali. I dati relativi al sughero che sono di letteratura, tutti le altre informazioni utilizzate per il Biomattone sono informazioni primarie, ottenute direttamente dall'azienda in esame.

87 La suddetta ricerca è stata pubblicata all'interno della rivista "Energy Procedia 111 (2017)" è tratta della realizzazione di pannelli Fitness (Fibre Tessili Naturali per l'Edilizia Sostenibile) a base di lana di pecora e canapa per l'isolamento sostenibile. La ricerca è stata portata avanti dai professori: Pennacchio R., Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S.



## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Intonaco in argilla
2.Biomattone canapa e calce
3.Struttura in legno
4.Sughero bruno autocollato
5.adesivo rasante in calce
6.Rete in fibra di vetro
7.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

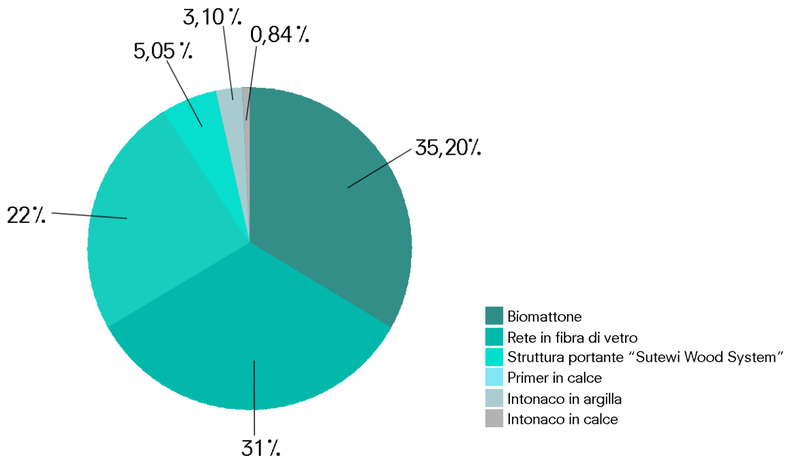
Dati primari

Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate

## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali




Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, il Biomattone risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova la rete in fibra di vetro, la struttura portante in legno, il primer in calce, l'intonaco in argilla, e l'intonaco in calce.

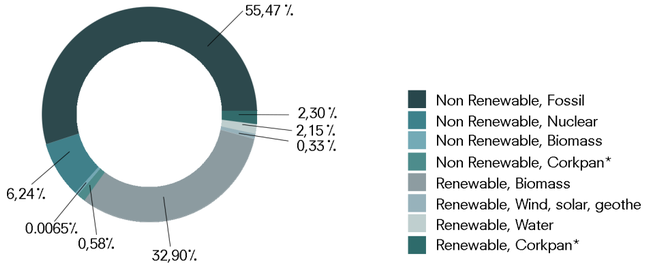
I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



## La valutazione finale

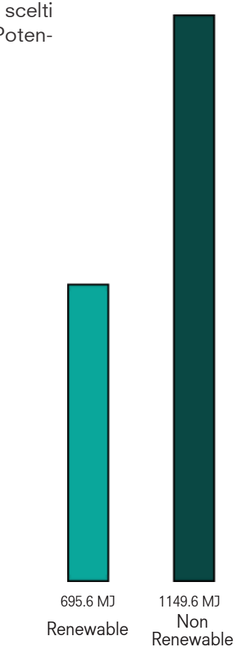
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al $m^2$ di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.



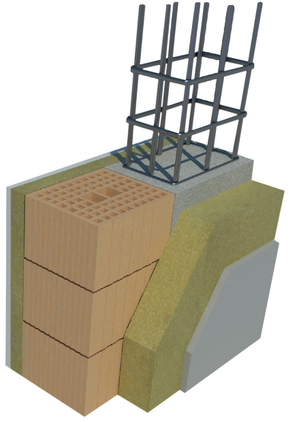

*Il valore del Corkpan per il consumo di risorse non rinnovabili e rinnovabili, ci è stato fornito dall'azienda Tecnosugheri s.r.l., che ha svolto essa stessa un'analisi LCA sul suo prodotto.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non- Renewable | MJ | 1149.646 |
| Totale Renewable | MJ | 695.6075 |
| | | |
| Totale IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 106.9476 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

## 7.2.6 Elemento tecnico con struttura portante in cemento armato, blocchi Poroton e isolante in lana di roccia (Benchmark)



**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.013 ($W/m^2K$) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.20 ($W/m^2K$) |
| Sfasamento ($\phi$) | 9.69 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [$kg/m^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [$kg/m^2$] | Resistenza invernale [$m^2K/W$] | Resistenza estiva [$m^2K/W$] | Trasmittanza termica [$W/m^2K$] | Trasmittanza termica periodica [$W/m^2K$] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Intonaco in calce | 0.02 | 1800 | 0.9 | 840 | 24 | 36 | 0.022 | 0.022 | 5.202 | 5.188 | 0.31 |
| Rockwool Acoustic 225 Plus | 0.05 | 70 | 0.035 | 1030 | 1 | 3.5 | 1.429 | 0.05 | 0.626 | 0.625 | 0.29 |
| Blocchi Poroton | 0.25 | 700 | 10 | 1000 | 10 | 175 | 0.025 | 0.025 | 5.128 | 4.698 | 1.76 |
| Rockwool Frontrock Max Plus | 0.11 | 120 | 0.035 | 1030 | 1 | 13.2 | 3.143 | 3.143 | 0.302 | 0.284 | 2.14 |
| Intonaco in calce | 0.02 | 1800 | 0.9 | 840 | 24 | 36 | 0.022 | 0.022 | 5.202 | 5.188 | 0.31 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.



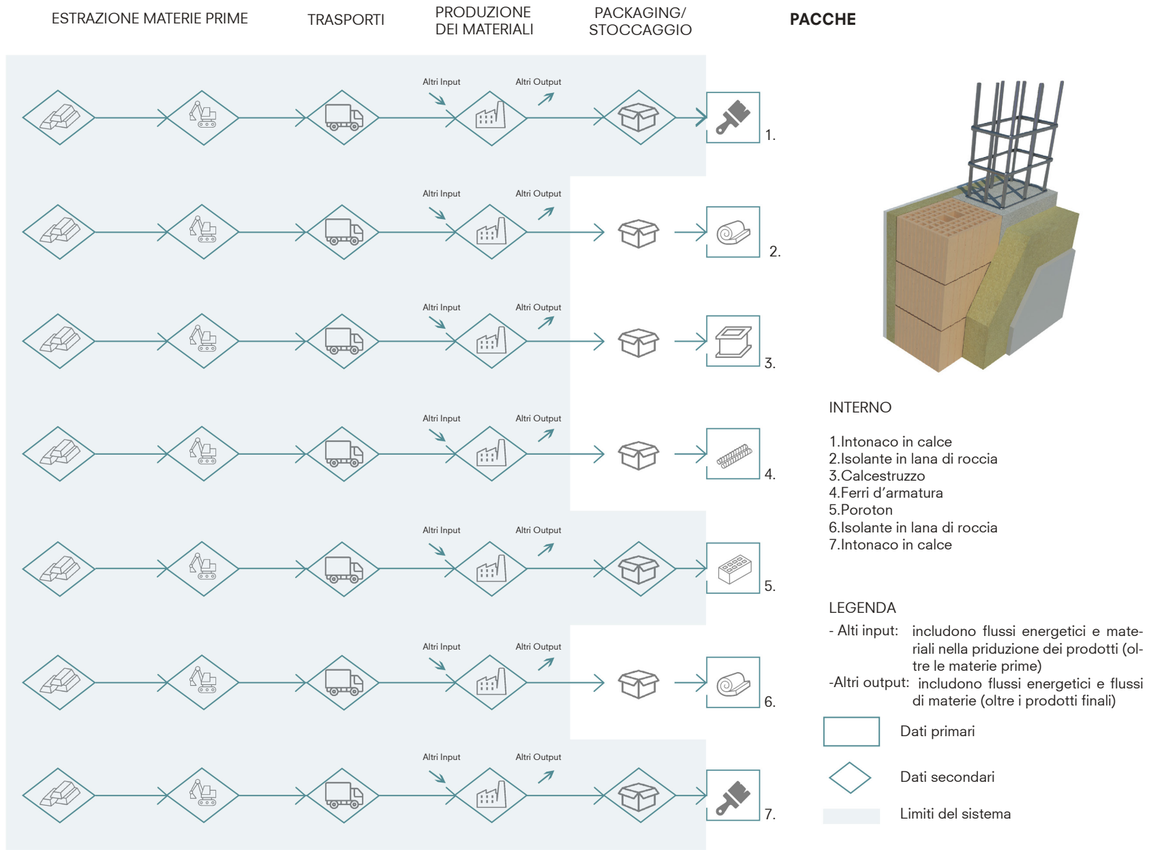
**Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro**

Il Benchmark è un elemento tecnico standard caratterizzato da una struttura portante in calcestruzzo armato, tamponamenti in blocchi Poroton e isolante in lana di roccia. Esso è simbolo delle tipiche costruzioni edili che si vuole cercare di superare, grazie all'introduzione del legno e di tutti i materiali innovativi oggetto di studio di questa tesi. L'obiettivo infatti è quello di confrontare l'impatto ambientale di ogni elemento tecnico con il benchmark, per dimostrare quanto effettivamente l'utilizzo di materiali naturali risulti essere meno dannoso per l'ambiente.

**La tipologia dei dati**

Anche in questo caso, le informazioni ottenute per la ricostruzione del blocco su SimaPro sono del tutto secondarie, in quanto i materiali sono stati scelti all'interno della banca dati Ecoinvent e successivamente assemblati tra di loro.

## Diagramma dei flussi






INTERNO

1.Intonaco in calce
2.Isolante in lana di roccia
3.Calcestruzzo
4.Ferri d'armatura
5.Poroton
6.Isolante in lana di roccia
7.Intonaco in calce

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

Dati primari

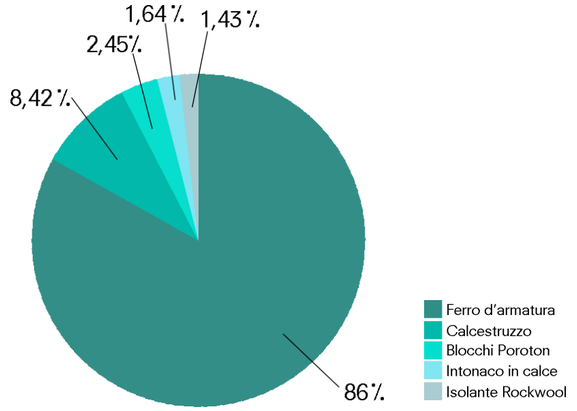
Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate



## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali

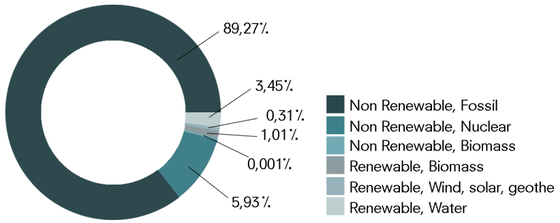



Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, il ferro di armatura risulta essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova il calcestruzzo, i blocchi Poroton l'intonaco in calce e l'isolante in lana di roccia.

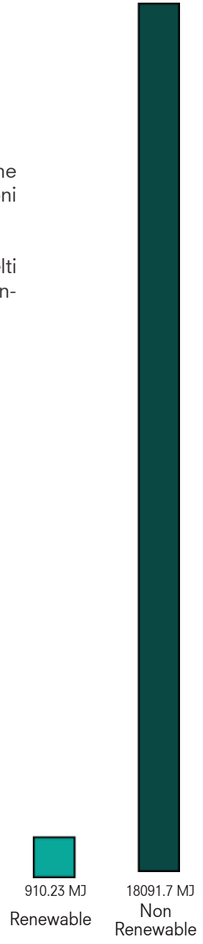
Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

**La valutazione finale**
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al m² di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 18091.73 |
| Totale Renewable | MJ | 910.2346 |
| | | |
| IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 2102.844 |

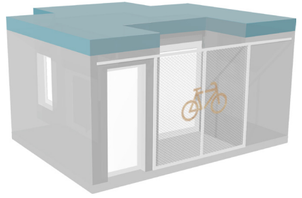



I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

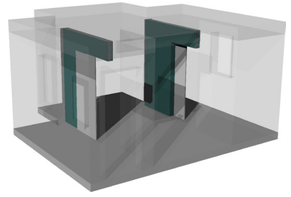


**Analisi LCA di elementi tecnici aggiuntivi**
In vista del calcolo finale a scala dell'edificio, è stato necessario analizzare anche gli elementi tecnici relativi alla copertura, al primo solaio e alle partizioni interne. Questi sono i medesimi per tutte le tipologie di parete studiate, poichè esterne all'obiettivo di tesi.

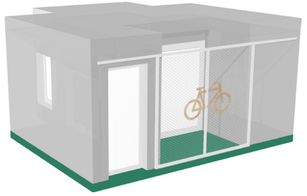
Di seguito sono riportate le singole stratigrafie con le rispettive valutazioni d'impatto.



Elemento tecnico con struttura in travi, isolante in lana di pecora e sughero



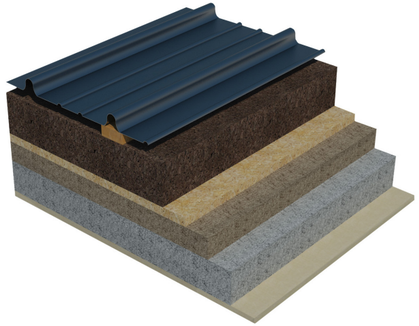
Elemento tecnico con pannelli di compensato e isolante lana di pecora



Elemento tecnico con Biomatotni e pavimento in gomma riciclata

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.

## 7.2.7 Elemento tecnico con struttura portante in travi e isoante in lana di pecora e sughero



**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.035 (W/m$^2$K) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.148 (W/m$^2$K) |
| Sfasamento ($\phi$) | 8.17 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [kg/m$^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [kg/m$^2$] | Resistenza invernale [m$^2$K/W] | Resistenza estiva [m$^2$K/W] | Trasmittanza termica [W/m$^2$K] | Trasmittanza termica periodica [W/m$^2$K] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Pannello di compensato | 0.015 | 400 | 0.11 | 2500 | 0 | 6 | 0.306 | 0.306 | 3.264 | 3.259 | 0.27 |
| Bio-Wool P | 0.08 | 18 | 0.037 | 1720 | 1 | 1 | 2.332 | 2.332 | 0.429 | 0.428 | 0.28 |
| Bio-Wool ME | 0.05 | 18 | 0.037 | 1720 | 1 | 1 | 1.521 | 1.521 | 0.657 | 0.657 | 0.12 |
| Tavole OSB | 0.02 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 13 | 0.324 | 0.324 | 3.088 | 3.077 | 0.42 |
| Sughero | 0.1 | 110 | 0.036 | 1900 | 20 | 11 | 2.948 | 2.948 | 0.339 | 0.303 | 2.88 |
| Lamiera di copertura | 0.001 | 8000 | 17 | 500 | / | 4 | 0.17 | 0.17 | 5.881 | 5.881 | 0.02 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.



**Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro**

La seguente stratigrafia è legata alla copertura del modulo di studio MAACC. Essa è realizzata con materiali isolanti come la lana di pecora e il sughero. Come possiamo vedere dalla stratigrafia, vengono utilizzati due pannelli di lana di pecora, compressi tra i pannelli di sostegno, per riuscire ad ottenere l'esatto spessore di isolamento richiesto. Tutto l'elemento tecnico è esternamente definito con una lamiera di copertura.

**Descrizione dell'isolante in lana di pecora**

La lana di pecora è un materiale che fin dall'antichità è stato utilizzato come isolante per le abitazioni, in quanto risulta essere una materia prima rinnovabile. Purtroppo, però, c'è stato un periodo in cui questa non veniva più utilizzata, ma considerata semplicemente uno scarto che veniva bruciato, causando un forte impatto inquinante sia sul terreno che in aria[88]. Inoltre, la maggior parte della lana utilizzata veniva importata dalla Nuova Zelanda, causando, anche in questo caso, un impatto ambientale dovuto ai trasporti per il trasferimento del materiale. Quest'ultimo presenta delle buone qualità termofonoisolanti ed è altamente igroscopico. Oggi la lana di pecora la ritroviamo nel campo dell'edilizia come materiale isolante, adatto sia per le pareti che per coperture con strutture in legno.

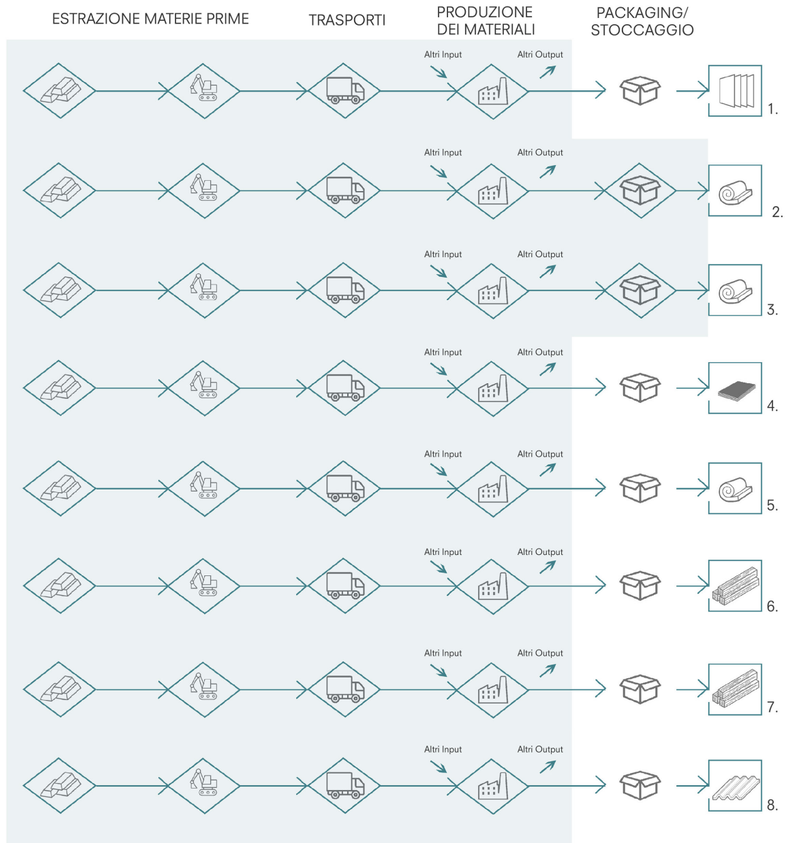
**La tipologia dei dati**

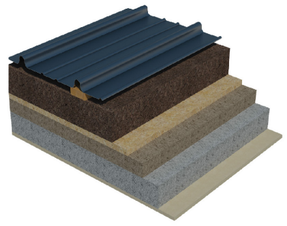
Nel caso specifico, i pannelli in lana di pecora impiegati nel progetto di tesi, vengono prodotti da un'azienda italiana che si occupa dell'intera realizzazione, sfruttando interamente la lana locale. Anche in questo caso, i valori riferiti alla lana, sono stati ripresi da uno studio[89] condotto dal Politecnico di Torino, che ha portato avanti un'analisi mirata a valutare l'impatto ambientale derivante dalla produzione dei pannelli in questione. La ricerca, ha infatti dimostrato, che questi prodotti, presentano elevate caratteristiche di isolamento termico e acustico, a volte anche migliori rispetto agli isolanti sintetici. In particolare l'azienda  a cui ci si è rivolti, Davifil s.r.l. si è dimostrata disponibile a fornirci l'analisi LCA.

Tuttavia, anche per la realizzazione di questo elemento tecnico sul software SimaPro, sono stati utilizzati dati secondari e di letteratura.

88 Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S., Marino D. "Sheep wool for sustainable architecture", pubblicata su "Energy Procedia 78 (2015)"
89 Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S., Marino D. "Sheep wool for sustainable architecture", pubblicata su "Energy Procedia 78 (2015)"

## Diagramma dei flussi



INTERNO

1.Compensato
2.Isolante in lana di pecora Bio-Wool P
3.Isolante in lana di pecora Bio-Wool ME
4.Tavole OSB
5.Sughero bruno autocollato
6.Travetti in legno
7.Struttura in legno
7.Lamiera

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

Dati primari

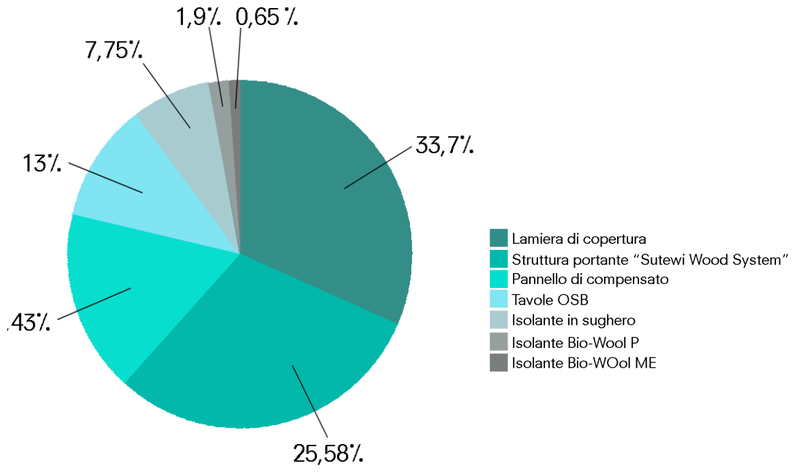
Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate



## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali



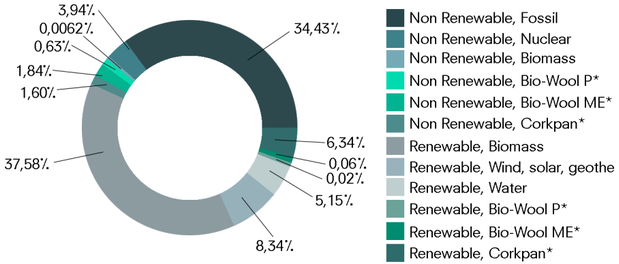

Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, le tavole OSB risultano essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova la membrana bituminosa, il Biomattone e la gomma riciclata.

Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

**La valutazione finale**

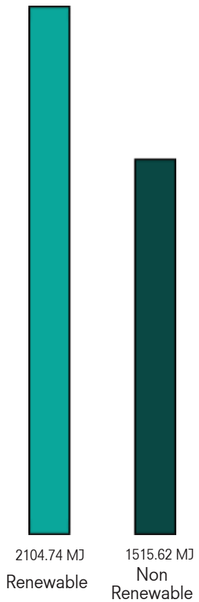
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al m² di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




*I valori dei materiali Bio-Wool P, Bio-Wool ME e Corkpan, per il consumo di risorse non rinnovabili e rinnovabili, ci sono sttai forniti direttamente dalle aziende Davifit e Tecnosugheri s.r.l., che hanno svolto esse stesse un'analisi LCA sui prodotti.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-Renewable | MJ | 1515.626 |
| Totale Renewable | MJ | 2104.747 |
| | | |
| TOTALE IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 112.5233 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



## 7.2.8 Elemento tecnico di partizione interna

**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.263 (W/m²K) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.271 (W/m²K) |
| Sfasamento ($\phi$) | 1.90 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [kg/m³] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [kg/m²] | Resistenza invernale [m²K/W] | Resistenza estiva [m²K/W] | Trasmittanza termica [W/m²K] | Trasmittanza termica periodica [W/m²K] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Pannello di compensato | 0.015 | 400 | 0.11 | 2500 | 0 | 6 | 0.306 | 0.306 | 3.264 | 3.259 | 0.27 |
| Bio-Wool ME | 0.12 | 18 | 0.037 | 1720 | 1 | 2 | 3.413 | 3.413 | 0.293 | 0.291 | 0.61 |
| Pannello di compensato | 0.015 | 400 | 0.11 | 2500 | 0 | 6 | 0.306 | 0.306 | 3.264 | 3.259 | 0.27 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate

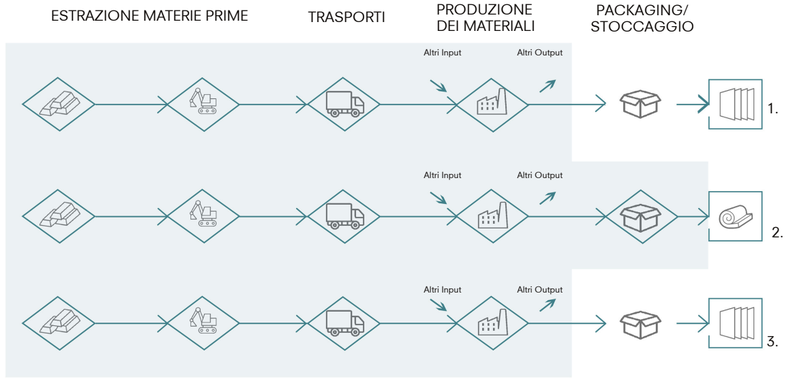
## Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro

L'elemento tecnico in esame, è riferito alle partizioni interne del modulo MAACC. La sua composizione è molto semplice, poiché costituito da due pannelli di compensato tra i quali è interposto uno strato di materiale isolante in lana di pecora. Il ragionamento seguito per l'elemento tecnico di copertura sulla lana di pecora, vale anche in questo caso: la scelta di questo è conseguenza del fatto che si vuole cercare di ottenere un edifico che possa avere dei risultati finali di impatto notevolmente bassi rispetto agli standard[90].

90 L'unica pecca che è stata notata dagli esperti che hanno condotto lo studio sull'impatto ambientale dei pannelli in lana di pecora è che ancora, a livello regionale, non esiste una buona rete di connessione per l'ottenimento della lana di pecora come materiale da utilizzare in edilizia, rischiando di incappare in prodotti che magari utilizzano materie prime estere e che presentano di conseguenza grandi impatti ambientali.



## Diagramma dei flussi




**PACCHETTO PARTIZIONI INTERNE**

INTERNO

1.Compensato
2.Isolante in lana di pecora Bio-Wool ME
3.Compensato

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

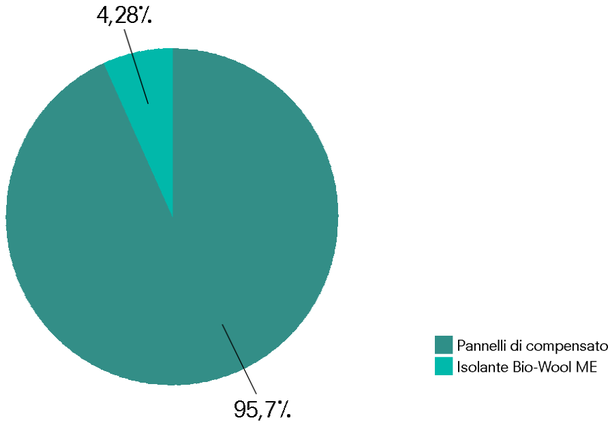
Dati primari

Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate

**Valutazione dell'impatto dei singoli materiali**




Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, i pannelli di compensato risutano essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova l'isolante in lana di pecora Bio-Wool ME.

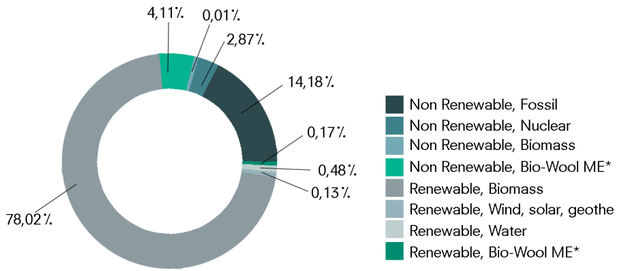
I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



**La valutazione finale**

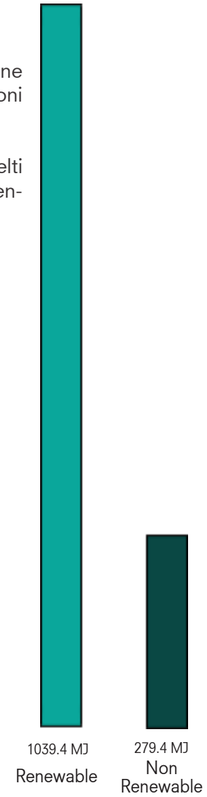
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al $m^2$ di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.



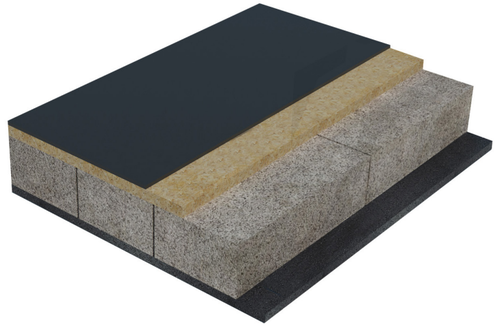

*Il valore del Bio-Wool ME per il consumo di risorse non rinnovabili e rinnovabili, ci è stato fornito dall'azienda Davifit, che ha svolto essa stessa un'analisi LCA sul suo prodotto.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 279.4 |
| Totale Renewable | MJ | 1039.4 |
| | | |
| Totale IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 14.225 |




I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.

## 7.2.9 Elemento tecnico con Biomattoni e pavimento in gomma riciclata



**Caratteristiche fisiche della parete di involucro**

| | |
|---|---|
| Trasmittanza Termica Periodica ($Y_{ie}$) | 0.145 ($W/m^2K$) |
| Trasmittanza Termica (U) | 0.413 ($W/m^2K$) |
| Sfasamento ($\phi$) | 9.68 h |

**Stratigrafia della parete di involucro**

| | Spessore [m] | Densità [$kg/m^3$] | Conduttività [W/mK] | Calore specifico [J/kgK] | Fattore di resistenza al vapore | Massa superficiale [$kg/m^2$] | Resistenza invernale [$m^2K/W$] | Resistenza estiva [$m^2K/W$] | Trasmittanza termica [$W/m^2K$] | Trasmittanza termica periodica [$W/m^2K$] | Sfasamento [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INTERNO | | | | | | | | | | | |
| Gomma riciclata | 0.008 | 352 | 0.035 | 1200 | 20 | 3 | 0.396 | 0.396 | 2.525 | 2.525 | 0.08 |
| Tavole OSB | 0.025 | 650 | 0.13 | 1700 | 50 | 16 | 0.362 | 0.362 | 2.76 | 2.743 | 0.59 |
| Biomattone | 0.12 | 330 | 0.07 | 1870 | 5 | 40 | 1.884 | 1.884 | 0.531 | 0.335 | 5.89 |
| Membrana impermeabilizzante | 0.02 | 1200 | 0.17 | 920 | 20492 | 24 | 0.288 | 0.288 | 3.476 | 3.467 | 0.37 |
| ESTERNO | | | | | | | | | | | |

Le principali caratteristiche dei materiali all'interno dell'elemento tecnico vengono esplicitati nella tabella della stratigrafia, ognuno con il rispettivo spessore, tenendo in considerazione che questi ultimi sono conseguenza del valore di trasmittanza precedentemente stabilito.

Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.



**Aspetti generali dell'elemento tecnico e sviluppo su SimaPro**

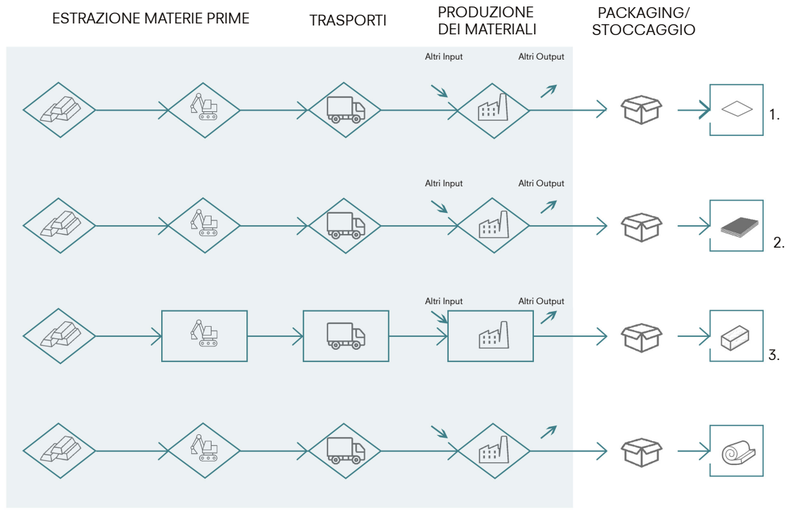
L'ultimo elemento tecnico preso in considerazione è il primo solaio del modulo MAACC. Esso è composto da una membrana impermeabilizzante, al di sopra della quale sono disposti i blocchi in Biomattone. Su quest'ultimo è posto un pannello di compensato, su cui viene posato un pavimento in gomma riciclata.

**La tipologia dei dati**

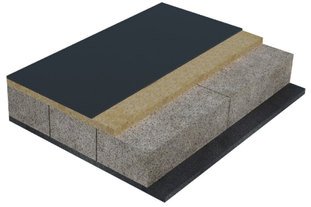
I dati precedentemente inseriti all'interno del programma SimaPro, hanno facilitato la fase di valutazione dell'elemento. Vengono utilizzate informazioni primarie, in riferimento al Biomattone; secondarie, per il compensato e la membrana impermeabilizzante; di letteratura il valore della gomma riciclata[91].

91 Roberto Giordano, *"I prodotti per l'edilizia sostenibile : la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio"*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010

## Diagramma dei flussi




**PACC**



INTERNO

1.Gomma reciclata
2.OSB
3.Biomattone
4.Membrana impermeabilizzante

LEGENDA

- Alti input: includono flussi energetici e materiali nella priduzione dei prodotti (oltre le materie prime)
-Altri output: includono flussi energetici e flussi di materie (oltre i prodotti finali)

Dati primari

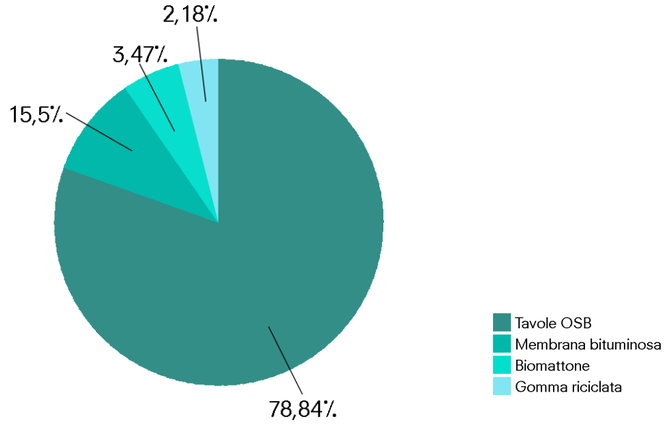
Dati secondari

Limiti del sistema

Il seguente grafico raffigura il diagramma dei flussi che interessano i processi produttivi per la produzione dei materiali in esame.
L'elaborato grafico è stato prodotto personalmente dalle candidate



## Valutazione dell'impatto dei singoli materiali



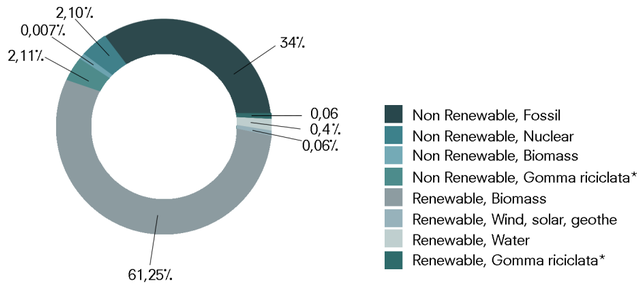

Dal grafico sopra riportato, si evince l'incidenza dei singoli componenti che caratterizzano l'involucro opaco, rispetto al Cumulative Energy Demand. Specificando che i valori in percentuale, considerano le fonti rinnovabili e non, i pannelli di compensato risutano essere il materiale con il maggior valore di impatto. Di seguito si ritrova l'isolante in lana di pecora Bio-Wool ME.

Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

**La valutazione finale**

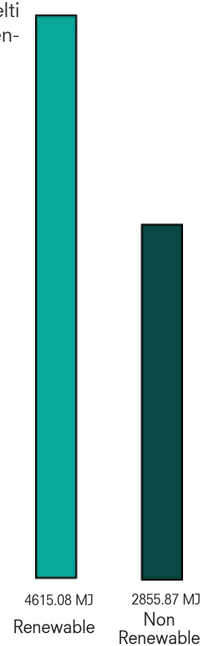
La fase finale dello studio dell'elemento tecnico corrisponde alla valutazione degli impatti ambientali, così da permettere una quantificazione delle emissioni riferite al m² di parete per tutto il suo ciclo produttivo.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i due indicatori di impatto scelti per la valutazione, quali: Cumulative Energy Demand e Global Warming Potential a 100 anni.




*Il valore della gomma riciclta per il consumo di risorse non rinnovabili e rinnovabili, è un valore di letteratura.

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| CUMULATIVE ENERGY DEMAND | | |
| Totale Non-renewable | MJ | 2855.8726 |
| Totale Renewable | MJ | 4615.0888 |
| | | |
| IPCC GWP 100a | kg CO2 eq | 119.88832 |

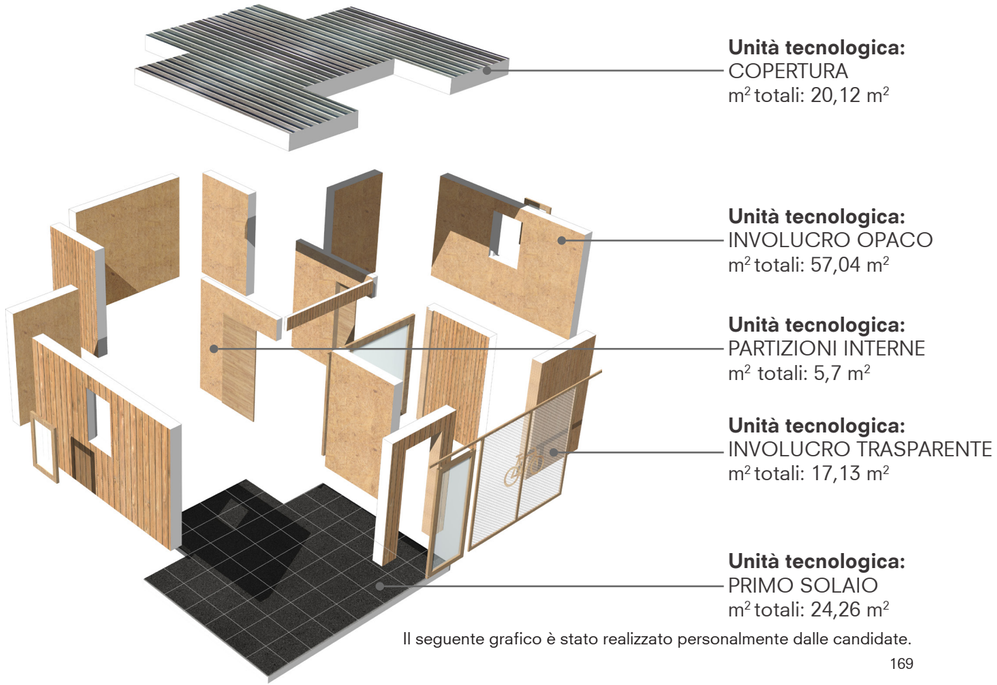



I seguenti grafici di analisi e la tabella sono stati elaborati personalmente dalle candidate.



## 7.3 Le unità tecnologiche del modulo MAACC

A questo punto dell'analisi, risulta chiaro estendere i risultati ottenuti nelle precedenti fasi all'intero caso studio. Gli studi effettuati sui singoli elementi tecnici svolti in riferimento a 1 m² sono dunque riportati in conseguenza alle effettive dimensioni del modulo. Segue lo spaccato assonometrico che mette in risalto queste dimensioni.



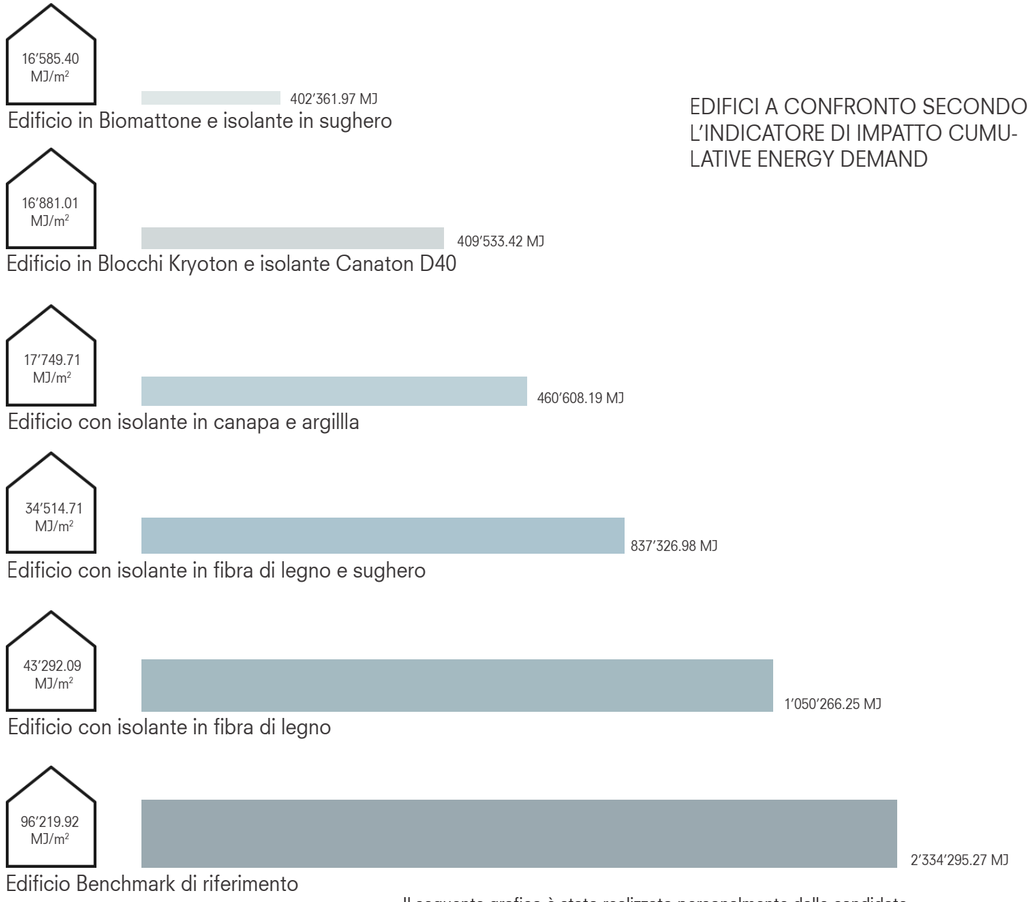

Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

## 7.4 L'analisi LCA a scala dell'edificio

L'obiettivo finale delle analisi  è stato raggiunto dal momento che le analisi e i relativi risultati hanno definito l'edificio meno impattante dal punto di vista ambientale. A questo proposito si riportano le considerazioni riguardo alla lettura ed interpretazione dei risultati. Innanzitutto, partendo dai valori calcolati nelle fasi precedenti, si è riscontrata un'evidente divergenza tra i risultati ottenuti per i singoli materiali impiegati e quelli ricavati a seguite  dalle analisi condotte a scala dell'edificio. In particolare, i materiali "tradizionali" che manifestavano basso impatto ambientale presi singolarmente (1kg di materiale), hanno dimostrato in sede di analisi un comportamento opposto a quanto inizialmente pronosticato. Tuttavia, i materiali di origine naturale, contrariamente ai valori decretati inizialmente, si sono rivelati una valida alternativa ai materiali tradizionali in termini di impatto ambientale.
I parametri cruciali che hanno determinato la "sconfitta" dei materiali tradizionali risultano in relazione al quantitativo di materiale impiegato per i rispettivi elementi tecnici presi in esame, e alla disposizione e accoppiamento dei materiali che concorrono a realizzare la stratigrafia di questi.
Dai risultati riportati successivamente, si evince che l'edificio composto da pareti opache in biomattone ed isolante in sughero risulta essere la soluzione migliore in termini di impatto ambientale, se confrontato col peggiore costituito da materiali tradizionali.

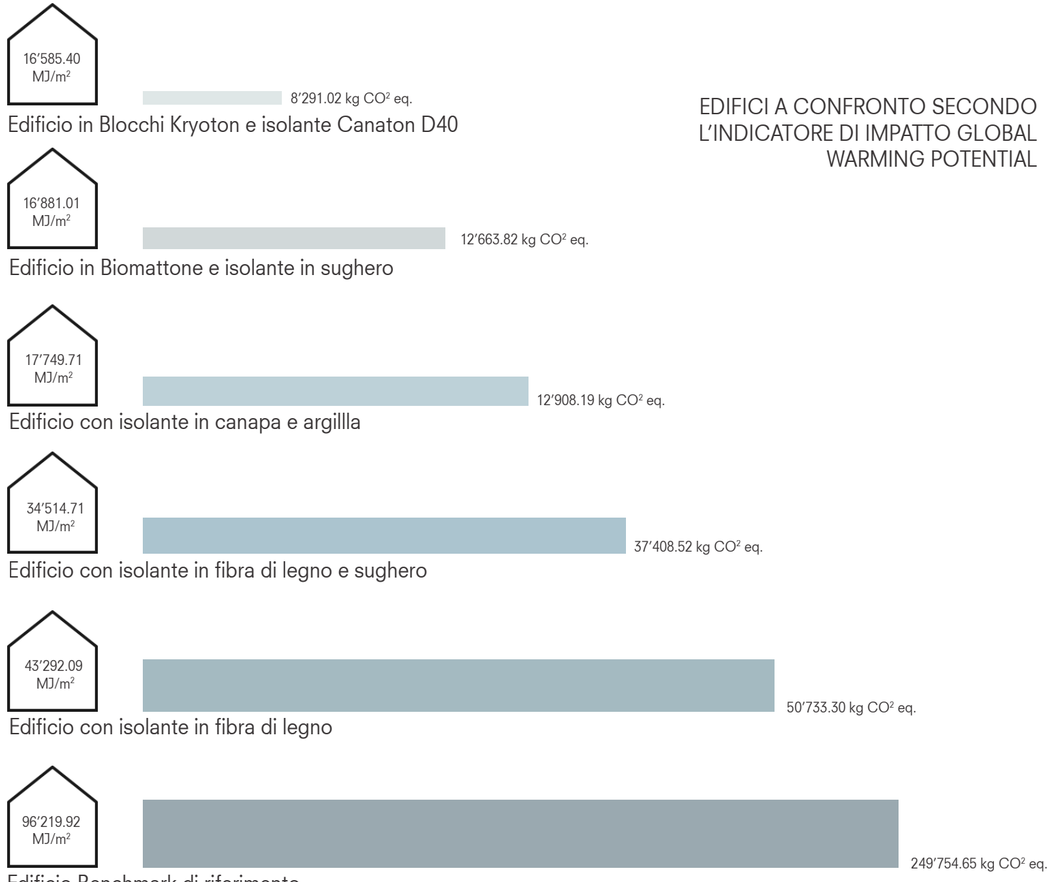


EDIFICI A CONFRONTO SECONDO L'INDICATORE DI IMPATTO CUMULATIVE ENERGY DEMAND




Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.

## EDIFICI A CONFRONTO SECONDO L'INDICATORE DI IMPATTO GLOBAL WARMING POTENTIAL

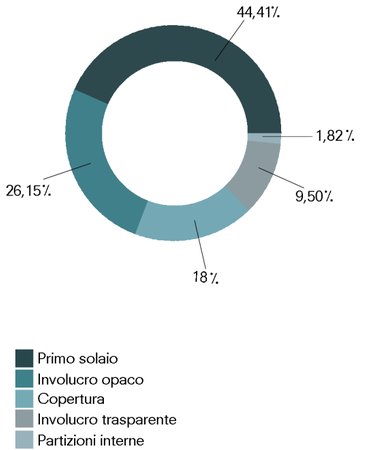



Il seguente grafico è stato realizzato personalmente dalle candidate.



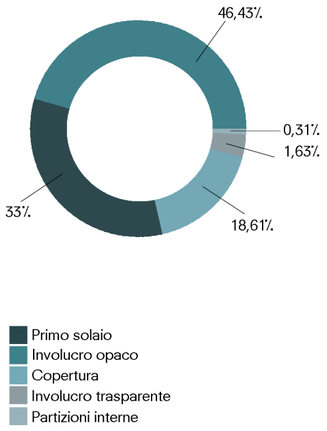
### Edificio in blocchi in Biomattone

Il seguente grafico, espresso in percentuale, rappresenta l'impatto che ogni unità tecnologica ha in relazione all'intero edificio preso in esame. in questo caso specifico, notiamo, come il primo solaio risulti il componente più impattante. a seguire troviamo le pareti perimetrali esterne, la copertura, l'involucro trasparente e le partizioni interne.

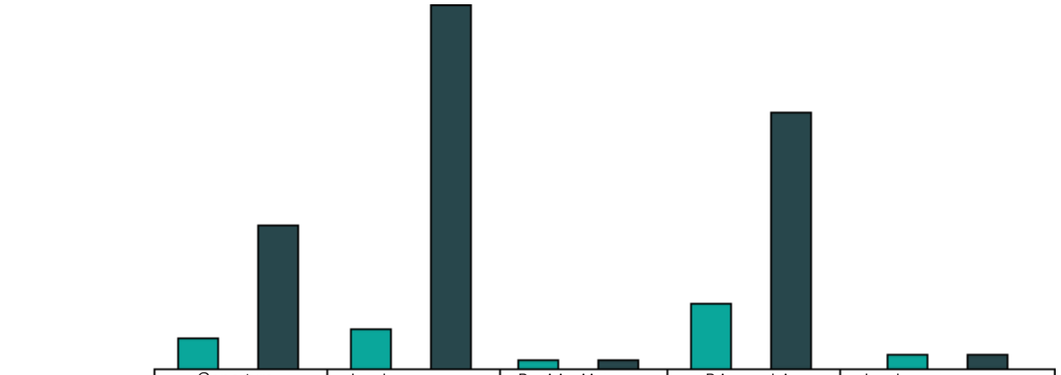



### Edificio di riferimento Benchmark

Il seguente grafico, espresso in percentuale, rappresenta l'impatto che ogni unità tecnologica ha in relazione all'intero edificio preso in esame. In questo caso specifico, notiamo, come l'involucro opaco sia il componente più impattante. a seguire troviamo il primo solaio, la copertura, l'involucro trasparente e le partizioni interne.




Gli elaborati grafici sono stati prodotti personalmente dalle candidate.



| | Copertura | Involucro opaco | Partizioni interne | Primo solaio | Involucro trasparente |
|---|---|---|---|---|---|
| Biomattone | 72841.88 MJ | 105253.24 MJ | 7344.56 MJ | 178694.74 MJ | 38227.54 MJ |
| Benchmark | 434614.34 MJ | 1083872.18 MJ | 7344.56 MJ | 770236.64 MJ | 38227.54 MJ |

Il seguente grafico rappresenta un confronto tra l'edificio realizzato con struttura portante in travi, blocchi in Biomattone e isolante in sughero, e, l'edificio di riferimento in calcestruzzo armato, blocchi Poroton e isolante in lana di roccia. In questo caso particolare, si vuole mettere in evidenza, l'effettivo divario che caratterizza i due edifici e che permette di prendere consapevolezza dell'effettivo quantitativo di energia richiesta per la loro realizzazione.

# CONCLUSIONI

Nel corso degli anni, l'architettura ha cercato di rispondere a quesiti sempre più specifici in relazione all'avanzamento del progresso scientifico-tecnologico e culturale della società. Questo cambio di paradigma, è dovuto soprattutto ai grandi temi di dibattito attuale, quali i cambiamenti climatici e la sostenibilità ambientale. Si è dovuto, in particolar modo, dare risposta a quesiti riguardanti l'impatto ambientale degli edifici, poiché l'edilizia risulta essere un settore in continua crescita. Da qui, l'esigenza di tornare sui propri passi, reinventando e trovando soluzioni alternative a quelle tradizionali in uso, che però risultano non al passo con le nuove necessità. Questa tesi, dunque, ha l'ambizione di introdurre materiali e componenti costruttivi innovativi ed ecologici, che possano essere conformi ai nuovi obiettivi stabiliti dalle attuali normative a tutela dell'ambiente. Il lavoro è, dunque, stato introdotto dallo studio del concetto di sostenibilità ambientale, fondamentale per capire il contesto e le strategie migliori per muoversi in esso. Successivamente, è stato analizzato lo sviluppo tecnologico in questo frangente, fino ad arrivare a considerare le tecnologie più attuali, in modo da acquisire un preciso know-how utile per effettuare e comprendere le analisi seguenti. In seguito alla ricerca riguardante il contesto della sostenibilità ambientale, l'attenzione è stata focalizzata su determinati "mercati di nicchia", comprendenti componenti edilizi e materiali eco-efficienti. Dunque, prodotti come la canapa, l'argilla, il biomattone, il sughero, la lana di pecora e la paglia, sono stati oggetto di studio poiché si ritrovano all'interno di quest'ambito. Allo scopo di "quantificare" l'impatto ambientale e, conseguentemente, informare i consumatori sulle scelte dei prodotti da utilizzare, si sono ricercati dei metodi di calcolo specifici. Essi, consentono di avere una visione a 360 gradi su quello che è il ciclo di vita del prodotto (inteso come singolo componente o come sistema) e renderlo trasparente sotto ogni aspetto, così da poter accompagnare cliente e costruttore nella scelta degli stessi. Tale metodo, infatti, noto come analisi LCA (Life Cycle Assessment) permette di effettuare una valutazione degli impatti ambientali di un prodotto, processo o un servizio.

In ambito di tesi, sono state effettuate, dunque, delle analisi nel contesto di due progetti di ricerca ed uno sperimentale condotti dal DAD del Politecnico di Torino e da altri Enti locali, che si propongono come prototipi per soluzioni innovative. Citiamo per completezza questi progetti:
– Modulo Abitativo a Cambiano;
– Modulo PVZEN;
– Modulo MAACC;
L'ultimo di questi è stato protagonista degli studi svolti, essendo l'unico di essi con data di realizzazione prossima. Questo lavoro, si è prestato per offrire un contribuito ai progetti di ricerca riguardanti l'utilizzo di materiali e sistemi innovativi, attraverso un approccio tecnico-scientifico, confermando, alla fine, gli effettivi benefici apportati da questi ultimi.
In concreto, si è partiti dal considerare i singoli materiali oggetto di studio (riferiti a 1 kg di materiale), sottoponendoli all'analisi LCA. I risultati ottenuti si sono mostrati (in termini di impatto ambientale) favorevoli nei confronti dei materiali tradizionali, mentre i materiali naturali sono risultati i meno efficienti. Contrariamente, sottoponendo l'intero modulo all'analisi, si è riscontrato che gli impatti ambientali minori vengono attribuiti ai materiali naturali, a discapito di quelli tradizionali. Questo è principalmente dovuto a due fattori:
– Quantità di materiale effettivamente utilizzato per comporre le stratigrafie di involucro opaco;
– Accostamento e accoppiamento nella composizione della stratigrafia degli elementi tecnici.
Come considerazione finale, si è decretata la tipologia di elemento tecnico di parete più prestazionale tra gli involucri proposti per il progetto del modulo MAACC, quali:
– Struttura in legno, isolante in fibra di legno;
– Struttura in legno, isolante in fibra di legno e sughero;
– Struttura in legno, isolante in canapa e argilla;
– Struttura in legno, isolante in canapa e blocchi kryoton;
– Struttura in legno, biomattone e sughero;
– Struttura in calcestruzzo, isolante in lana di roccia e blocchi Poroton;
Tra questi, sono stati messi a confronto il migliore che risulta essere rispettivamente la struttura in legno con biomattone e sughero, e  il peggiore  quale la struttura in calcestruzzo con isolante in lana di roccia e blocchi Poroton.

Il lavoro trae spunto dal concetto della Bioedilizia, con l'intento di approfondire tematiche ancora marginali nel contesto edilizio. Qui, l'impiego di materiali di origine naturale, in sostituzione a quelli tradizionali, risulta essere una valida alternativa per rispondere alle tematiche ambientali. Sebbene, i guadagni in termini di impatto siano evidenti, tali prodotti richiedono modalità operative poco efficienti, con tempi di costruzione prolungati e, di conseguenza, costi elevati. Per esempio, l'utilizzo del Biomattone come materiale di tamponamento, prevede la posa dei singoli componenti, richiamando le tradizionali tecniche di costruzione in laterizio.

Lo studio proposto, dunque, vuole fornire un input per la sensibilizzazione della collettività rispetto all'uso di nuovi sistemi e materiali innovativi, ma anche un incentivo per ripensare alle modalità con cui vengono realizzati, per raggiungere risultati sempre più prestazionali. Un punto di partenza, potrebbe essere legato al concetto della prefabbricazione, che fa parte del contesto della bioedilizia. In tale ambito, l'integrazione dei materiali eco-efficienti all'interno dei sistemi innovativi, in una fase precedente a quella di posa in opera in cantiere, può essere una strategia competitiva che porta a ripensare alle attuali modalità operative.
A titolo di esempio, si cita un progetto che verte sulla realizzazione di una casa ad Accumuli (RI), da parte della Pedone Working®. Casa Hi-Low, così chiamata, è stata costruita a seguito dei terremoti che hanno colpito l'Italia centrale nel 2016, per rispondere alle immediate esigenze post-sisma.
Tale manufatto, donato alla città, è  caratterizzato da un'attenta gestione organizzativa e produttiva garantendo tempi di costruzione ridotti ed alti requisiti prestazionali.
Essa, rappresenta una soluzione abitativa prefabbricata, naturale e sostenibile, con struttura antisismica in acciaio e tamponamenti in biomattone. I tempi rapidi sono giustificati dal fatto che, per la realizzazione dell'involucro opaco, i blocchi di biomattone vengono già posati all'interno della struttura portante, risparmiando il tempo della posa in opera dei singoli elementi tipici dell'edilizia tradizionale. Tale manufatto, dunque, risulta altamente ingegnerizzato, caratteristica necessaria al compromesso tra sostenibilità ed efficienza operativa.

Non esiste futuro senza l'evoluzione, ma non esiste l'evoluzione senza la volontà di evolvere.

**TON GRUPPE®**
Via Nazionale 15 – Reichstraße 15
I-39044 Laghetti-Egna | Laag-Neumarkt (BZ)
T +39 0471 888000 | F +39 0471 888140
info@ton-gruppe.it | www.ton-gruppe.it

v.07-17.05

## Scheda Tecnica di Prodotto

# CANATON® D40 / D40 NATUR

cod. prodotto CTP40xxx
CTPM40xxx

Pannello isolante termo acustico atto alla coibentazione di pareti, coperture, solai, controsoffitti e contropareti in fibre di canapa italiana termofissate tridimensionalmente con un 13% di fibre di poliestere (**Canaton® D40**) o con amido di mais (**Canaton® D40 Natur**), privo di additivi nocivi e inquinanti, prodotto biodegradabile ed ecologico (1 kg di fibra di canapa sottrae, grazie alla fotosintesi, 3,8 Kg di $CO_2$ all'atmosfera).
Materiale altamente traspirante e resistente all'umidità, in caso d'imbibizione accidentale conserva inalterate le proprie caratteristiche una volta asciutto. Il taglio può essere facilmente eseguito mediante sega circolare, manuale o da banco, o seghe multifunzione. In fase di lavorazione viene prodotta poca polvere, il contatto e l'inalazione delle fibre non causa irritazioni cutanee e alle vie respiratorie. Materiale naturalmente inattaccabile da parte di insetti e roditori, grazie all'assenza di sostanze proteiche ed al sapore amaro delle fibre di canapa, resistente alle muffe e completamente riciclabile.
Spessori standard 50/80/100 mm.

| Dati Tecnici | |
|---|---|
| Forma | Pannelli, bordi diritti e angoli smussati |
| Colore | Beige scuro |
| Dimensioni | 600x1200 mm |
| Consumo per $m^2$ | 1,39 pz/ $m^2$ |
| Spessori standard | 50/80/100 mm |
| Conduttività termica dichiarata | $\lambda_D$=0,04 W/m K |
| Massa volumica | 40 kg/$m^3$ |
| Calore specifico | 2,3 kJ/kg K |
| Resistenza alla diffusione del vapore (UNI EN 1015-19) | μ=1,5 |
| Fonoassorbimento | aw=1,00 (classe A) |
| Reazione al fuoco (EN 13501-1) | Euroclasse E |
| Trattamento ignifugo | Sale di ammonio < 1% |
| Certificazione | ETA 13-0518 |
| Tipologia legante | Poliestere (**Canaton® D40**)<br>Amido di mais (**Canaton® D40 Natur**) |

- ✓ **Buon isolamento termico e acustico**
- ✓ **Migliora l'inerzia termica**
- ✓ **Ecologico e naturale**
- ✓ **Elevata traspirabilità**
- ✓ **Prodotto sicuro**
- ✓ **Elevato potere fonoassorbente**
- ✓ **Resistente all'umidità**
- ✓ **Ottima stabilità dimensionale**
- ✓ **Inattaccabile da insetti e roditori**
- ✓ **Certificazione ETA 13-0518**

| Spessore [mm] | Superficie per pacco [$m^2$/pacco] | Superficie per bancale [$m^2$/pallet] | Trasmittanza termica U [W/$m^2$ K] |
|---|---|---|---|
| 50 | 5,76 | 63,36 | 0,80 |
| 80 | 3,60 | 39,60 | 0,50 |
| 100 | 2,88 | 31,68 | 0,40 |

**La presente scheda tecnica sostituisce e annulla le precedenti versioni. Le informazioni della presente scheda tecnica corrispondono alle nostre attuali conoscenze ed esperienze. Da esse, tuttavia, non possono derivare nostre responsabilità e nessuna rivalsa. Essi non esimono in linea di principio il cliente dal controllare autonomamente il prodotto sotto il profilo della sua idoneità per il tipo di impiego previsto. I prodotti Ton Gruppe® sono soggetti a continui controlli di qualità sia sulle materie prime sia sul prodotto finito. I nostri tecnici e consulenti sono a Vostra disposizione per informazioni, chiarimenti e quesiti sull'impiego e la posa dei nostri prodotti, come pure per sopralluoghi in cantiere e dimostrazioni pratiche. Le schede tecniche aggiornate sono reperibili in internet, sul sito www.ton-gruppe.it o possono essere richieste presso i nostri uffici. Per richiedere ulteriori dati tecnici non contemplati nella presente scheda contattare direttamente l'Ufficio Tecnico al numero telefonico 0471.888000 o via email a ufficiotecnico@ton-gruppe.it.**

Scheda Tecnica di Prodotto

# KRIOTON® I20

Blocco semipieno per muratura di tamponamento in speciale miscela di terra cruda composta di argilla italiana e fibre vegetali naturali (paglia, canapa, pula di riso), di dimensioni 215x230x115 mm, peso specifico apparente di 1450 kg/m³, conduttività termica 0,248 W / m K, percentuale di foratura 22%, schermante contro i campi elettromagnetici, ecosostenibile e riciclabile, regolatore termoigrometrico, rientrante nella classe di reazione al fuoco Euroclasse A1, assorbimento massimo umidità del 4,69% in peso, in opera a giunti verticali e orizzontali con boiacca d'argilla (blocchi rettificati) o con letto di malta in argilla (blocchi non rettificati - NR). I blocchi sono disponibili nella versione con entrambe le superfici laterali lisce (cod. GEMA122L e cod. GEMA122LNR) e in quella con un lato liscio ed uno con nervature verticali (cod. GEMA12 e cod. GEMA12NR). Il lato nervato va utilizzato per migliorare l'aggrappaggio dell'intonaco per esterno. I blocchi possono essere tagliati e lavorati in maniera precisa con gli utensili per legno, quali seghe manuali e a nastro, punte e frese.

| Dati Tecnici | |
|---|---|
| Forma | Blocchi, rettificati o non rettificati |
| Colore | Grigio ocra |
| Forma degli spigoli | Bordi dritti, assenza di spigoli vivi |
| Impiego previsto | Pareti di tamponamento e divisorie, contropareti |
| Dimensioni (l x h x sp.) | 215 x 230 x 115 mm |
| Peso specifico apparente | 1450 kg/m³ |
| Umidità intrinseca | 0 % |
| Assorbimento umidità | $w\%_{max}$ = 4,69 |
| Conduttività termica dichiarata | $\lambda_D$=0,248 W/m K |
| Calore specifico | 1,1 kJ/kg K |
| Dilatazione termica | 8,5 x $10^{-6}$ °C$^{-1}$ |
| Resistenza al fuoco | EI 30 |
| Reazione al fuoco | Euroclasse A1 |
| Resistenza a flessione in 3 punti sul pieno | 4 MPa |
| Resistenza a compressione | 5,3 MPa |
| Abbattimento acustico* | $R_w$ = 43 dB |
| Resistenza alla diffusione del vapore | μ=10 |
| Spessore d'aria equivalente | $S_d$= 1,15 m |

- ✓ **Riduce i consumi per il riscaldamento e il raffrescamento del 30%**
- ✓ **Migliora l'inerzia termica**
- ✓ **Accumula il calore e lo distribuisce in maniera uniforme**
- ✓ **Regolazione naturale dell'umidità**
- ✓ **Evita la formazione di muffa**
- ✓ **Riduce l'appannamento dei vetri di finestre e vetrate**
- ✓ **Neutralizza gli odori sgradevoli**
- ✓ **Soluzione ideale anche per bagni e cucine**
- ✓ **Riduce l'elettrosmog del 98%****
- ✓ **Non trattiene la polvere e riduce lo sviluppo degli acari**
- ✓ **Ecologico e riciclabile al 100%**
- ✓ **Basso consumo di energia primaria in fase di produzione**
- ✓ **Lavorazione semplice e veloce**

* Valore misurato in laboratorio su parete ad una testa intonacata su entrambi i lati (spessore intonaco 1,5 cm)
** Valore misurato su una parete dello spessore di 12 cm ed una frequenza di 2 GHz

| Caratteristiche del prodotto | |
|---|---|
| Ciclo produttivo | Sono utilizzate diverse fonti energetiche (termica, elettrica e rinnovabile) con tecnologia di recupero del calore dai fumi caldi di vapore acqueo. L'essiccazione è effettuata tramite la luce solare e il calore recuperato. |
| Materie prime | Le materie prime utilizzate sono l'argilla (>70%) e le fibre vegetali (<30%). L'argilla proviene da cava di scarto a 400m dallo stabilimento di produzione, i prodotti sono al 100% naturali e senza trattamenti. I prodotti imperfetti e gli scarti vengono recuperati e rimessi in impasto. |
| Emissioni | Il sistema di controllo emissioni rispetta la campionatura di legge e vengono effettuate misurazioni agli sfiati dell'essiccatoio. Gli strumenti fissi non sono necessari, trattandosi di aria umida in uscita. |
| Utilizzo in opera | Il prodotto è caratterizzato da una semplice posa in opera, non necessita dell'utilizzo di attrezzi speciali. Facilità di lavorazione e di ripresa in caso di errori nel processo d'impiego. La lavorazione non comporta alcun rischio per la salute, non vengono prodotte polveri nocive o irritanti. Non esibisce modifiche nella composizione per invecchiamento. I leganti impiegati sono ecologici e non nocivi. |
| Smaltimento | Lo smaltimento non è causa di nessun problema; il materiale, se unito ad altri componenti naturali, può essere rimesso in natura e non rappresenta in sé un rifiuto. |

Scheda Tecnica di Prodotto

v.05-17.06
cod. prodotto IPxx

# GEOSANA® INTONACHINO PREGIATO

Intonaco di finitura per interni colorato e premiscelato, composto unicamente da argille e inerti naturali colorati. La posa su pareti e soffitti, sia in piano che in curva, avviene con la stesura a frattazzo, anche in singola mano, nello spessore di 2-3 mm e successiva lisciatura o trattamento superficiale mediante frattazzo in plastica, legno o spugna. Per prevenire crepe e cavillature in corrispondenza di giunti tra lastre o tra materiali diversi è necessario inserire un'armatura in rete di fibra di vetro, maglia minima 7x7 mm e larghezza minima 10 cm, prima dell'applicazione della finitura. Regolatore naturale di umidità, non necessita di ulteriore pitturazione e, grazie all'elevata alcalinità, previene la formazione di muffe. Specifico per la finitura di blocchi **Krioton® 120/80**, lastre **Kartonsan® 22/16/Clima/Dual 100/Dual 187/Energia** e **Geosana® Intonaco Rustico**.

| Dati Tecnici | |
|---|---|
| Forma | Polvere |
| Colore | Tortora (cod. IP10) / Giallo Pastello (cod. IP11) / Arancione (cod. IP12) / Rosa Antico (cod. IP13) / Avorio (cod. IP14) / Aquamarin (cod. IP15) / Giallo Oro (cod. IP16) / Verde Oliva (cod. IP17) / Bianco Neutro (cod. IP18) / Rosso Mattone (cod. IP19) / Bianco Raphael (cod. IP20) / Cipria (cod. IP22) / Africa Nera (cod. IP23) / Bianco Panna (cod. IP24) / Rosso Africa (cod. IP25) |
| Composizione | Argilla e sabbia naturale di cava a granulometria mista (0 - 0,8 mm), senza additivi |
| Granulometria | da 0 a 0,8 mm |
| Consumo | ca. 1,67 kg/m² (per 1 mm di spessore) |
| Resa per confezione | 6 m²/sacco (per 2 mm di spessore)<br>4 m²/sacco (per 3 mm di spessore) |
| Spessore massimo intonacatura | 3 mm |
| Temperatura di applicazione | da +5 °C a +35 °C |
| Ritiro massimo | 2% |
| Resistenza alla flessione | 1,00 N/mm² |
| Resistenza a compressione | 2,50 N/mm² |
| Adesione | 0,20 N/mm² |
| Massa volumica | 2000 kg/m³ |
| Conducibilità termica dichiarata | $\lambda_D$=1,10 W/m K |
| Calore specifico | 1,0 kJ / kg K |
| Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua | μ=7,5 |
| Reazione al fuoco (EN 13501-1) | Euroclasse A1 |
| Confezionamento | Sacco da 20 kg |
| Confezioni per bancale | 40 sacchi / bancale |

- ✓ **Regolazione naturale dell'umidità**
- ✓ **Evita la formazione di muffa**
- ✓ **Finitura traspirante**
- ✓ **Neutralizza gli odori sgradevoli**
- ✓ **Soluzione ideale anche per bagni e cucine**
- ✓ **Non trattiene la polvere e riduce lo sviluppo degli acari**
- ✓ **Non necessita di pitturazione**
- ✓ **15 colorazioni di cartella, eventualmente miscelabili tra loro per ottenere nuove tonalità**
- ✓ **Ecologico e riciclabile al 100%**
- ✓ **Pronto all'uso e facile da lavorare**
- ✓ **L'impasto può essere utilizzato in più giornate senza spreco di materiale**

## Preparazione e applicazione

Gli intonaci a base di argilla aderiscono solo meccanicamente. Il sottofondo deve essere sufficientemente scabro, pulito e di non dare segno di spolverare; assolutamente privo di parti inconsistenti e incoerenti (oli, sali, ecc.). Per sottofondi in gesso, cartongesso, fibrogesso, calcestruzzo e calcestruzzo aerato autoclavato (tipo Gasbeton, Ytong, Calcespan e simili) trattare la superficie con un primer (ad esempio **Geosana® Aggrappante Naturale**) prima di procedere all'applicazione della finitura.
Bagnare adeguatamente il supporto prima dell'applicazione per migliorarne la lavorabilità, tale operazione non va eseguita se il sottofondo è costituito da canniccio, lana di legno mineralizzata (tipo Celenit, Theralith e simili) o è stato precedentemente trattato con primer. Impastare ogni sacco da 20 kg con ca. 4-5 litri di acqua pulita ovvero il 20-25% circa del peso della polvere. La miscelazione va eseguita con agitatore meccanico. Prima dell'applicazione lasciare riposare l'impasto per 10-15 minuti.
Per la preparazione di piccole quantità, ad esempio per eseguire dei ritocchi, l'impasto può essere miscelato anche a mano e lasciato riposare per un paio di minuti prima dell'applicazione.
L'aspetto estetico superficiale varia a seconda dell'attrezzo utilizzato e del momento in cui avviene la lavorazione. Per ottenere una finitura al civile si deve rifinire con un frattazzo a spugna, plastica o legno mentre per ottenere una finitura più liscia va utilizzato un frattazzo metallico o una cazzuola americana.
A finitura completamente asciutta è eventualmente possibile colorare le superfici con pitture traspiranti, ad esempio **Geosana® Pittura ai Silicati**. Per incrementare ulteriormente la resistenza superficiale della finitura in zone particolarmente esposte a piccoli urti accidentali applicare, a finitura completamente asciutta, **Geosana® Fissativo ai Silicati**.

Canapalithos®

# 350

**CANAPAlithos® è il capostipite di una nuova generazione di biomateriali nati dalla sintesi tra una biomassa di canapa e il nostro legante brevettato “Pappa Reale”, completamente slegati dalla filiera del petrolio e privi di formaldeide, una sostanza classificata come cancerogena.**

## CANAPAlithos® 350

CANAPAlithos® 350 è la versione più leggera della nostra gamma di prodotti, realizzata con una maggiore parte granulometrica per contenerne la densità. Grazie alle sue caratteristiche di resistenza termica e traspirabilità, è un ottimo isolante per la bioedilizia.
Inoltre, in virtù della sua struttura porosa, presenta elevata capacità fonoassorbente che ne consente l’applicazione come pannello da controsoffitto.

### UTILIZZO

Si presta ad essere utilizzato come lastra di chiusura nelle soluzioni di isolamento interno ed esterno.

### APPLICAZIONI

Tutte quelle ove si richiedano principalmente prestazioni acustiche e termiche.

### VOCE DI CAPITOLATO

La canapa è un ottimo isolante termico e acustico, resistente a insetti, roditori, muffe. Durevole nel tempo. Questo prodotto è stato studiato per essere utilizzato principalmente come isolante nelle coperture, solai e cappotti. Non può essere utilizzato come pannello strutturale o collaborativo. Materiale caratterizzato da un bassissimo impatto ambientale, assenza totale di formaldeide, slegato dalla filiera del petrolio, con ottima resistenza all’acqua e al fuoco. Il pannello si presenta con dimensioni massime 2010x3980 , con densità pari a 350 kg/m³, conducibilità termica pari a 0,09 W/mK e permeabilità al vapore μ=6,6. Tolleranza su massa volumica ± 10%, tolleranza dimensionale pannelli ±2 mm.

CMF greentech

Canapalithos®

# 1000

**CANAPAlithos® è il capostipite di una nuova generazione di biomateriali nati dalla sintesi tra una biomassa di canapa e il nostro legante brevettato “Pappa Reale”, completamente slegati dalla filiera del petrolio e privi di formaldeide, una sostanza classificata come cancerogena.**

## CANAPAlithos® 1000

CANAPAlithos® 1000 è un pannello che aggiunge alle importanti proprietà di salubrità e traspirabilità della versione 350, caratteristiche meccaniche, di resistenza all’acqua e al fuoco decisamente superiori. Proprio in virtù di queste permette di ridurre le sezioni delle strutture portanti a telaio, fornendo contributo nella controventatura strutturale e nel fonoisolamento di parete.

### UTILIZZO

Si presta a essere utilizzato come pannello controventante* nelle strutture a telaio, come lastra in facciate ventilate, nei solai e nelle coperture.

### APPLICAZIONI

Tutte quelle ove si richiedano prestazioni di fonoisolamento o collaborative strutturali*.

### VOCE DI CAPITOLATO

La canapa è un ottimo isolante termico e acustico, resistente a insetti, roditori, muffe. Durevole nel tempo. Questo prodotto è stato studiato per essere utilizzato in sistemi di coperture, solai, sostitutivo di altre pannellature lignee, come substrato per la nobilitazione. Non può essere utilizzato come pannello strutturale ma come collaborativo*.
Materiale caratterizzato da un bassissimo impatto ambientale, assenza totale di formaldeide, slegato dalla filiera del petrolio, con ottima resistenza all’acqua e al fuoco. Il pannello si presenta con dimensioni massime 2010x3980 , con densità pari a 1000 kg/m³, conducibilità termica pari a 0,165 W/mK e permeabilità al vapore μ=23,3. Tolleranza su massa volumica ± 5%, tolleranza dimensionale pannelli ±2 mm.

* autorizzazione ministeriale in corso di ottenimento

CMF greentech

Canapalithos®

# ARGILLA 700

**CANAPAlithos® è il capostipite di una nuova generazione di biomateriali nati dalla sintesi tra una biomassa di canapa e il nostro legante "Pappa Reale", completamente slegati dalla filiera del petrolio e privi di formaldeide, una sostanza considerata cancerogena.**

## CANAPAlithos® ARGILLA 700

CANAPAlithos® ARGILLA è l'unione di una biomassa di canapa e argilla (terra cruda).
La traspirabilità e la capacità igrotermica del pannello, impiegato come rivestimento interno, garantisce un microclima stabile e confortevole. La massa volumica elevata protegge dai fattori inquinanti presenti nell'atmosfera, riduce l'inquinamento elettromagnetico offrendo un ottimo isolamento acustico e influendo positivamente sullo sfasamento e sull'attenuazione termica della parete. La terra cruda è un perfetto regolatore dell'umidità, capace di contrastare la formazione di muffa e di neutralizzare gli odori, rendendo l'aria più salubre.

### UTILIZZO

Si presta ad essere utilizzato come pannellatura di chiusura per soluzioni di isolamento interno.

### APPLICAZIONI

Tutte quelle ove si richiedano principalmente prestazioni termiche, acustiche ed assorbenti (vapore acqueo, odori). I pannelli possono essere applicati direttamente alla parete mediante l'utilizzo di viti ad espansione, oppure come consigliamo su struttura metallica\lignea per la realizzazione di contro pareti o tramezzi divisori. Il fissaggio alle strutture viene effettuato tramite viti o cambre (scelta consigliata). I pannelli sono sezionabili e sagomabili. CANAPAlithos® ARGILLA garantisce un microclima ideale, isolamento acustico, regolazione dell'umidità negli spazi abitativi ed ottima traspirabilità. Una volta posato, le fughe tra un pannello e l'altro vanno unite mediante rete e va eseguita la rasatura che può essere in argilla o calce.

### VOCE DI CAPITOLATO

Materiale collaborativo, non portante, da utilizzare su spessori elevati: caratterizzato da un bassissimo impatto ambientale, assenza totale di formaldeide, slegato dalla filiera del petrolio, con ottima resistenza all'acqua e al fuoco. Ottime caratteristiche di abbattimento acustico, massa attiva, schermo contro campi elettromagnetici, termo-igro regolatore, assorbente di odori, biologico e riciclabile al 100%, estrema facilità di posa. Il pannello si presenta con dimensioni massime 1890 X 3780 mm, con densità pari a 700kg/m$^3$, conduttività termica pari a 0,129 W/mK e permeabilità al vapore μ=12,3. Tolleranza su massa volumica ±10%, tolleranza dimensionale pannelli ±2 mm.

CMF greentech

*La produzione di Natural Beton, viene effettuata con un procedimento 'a freddo' molto specifico, riducendo significativamente il consumo di energia.*

equilibrium

Equilibrio Naturale Costruito

# Scheda tecnica Natural Beton® 200 PLUS

## PRESENTAZIONE

- Natural Beton® 200 PLUS è un materiale isolante massiccio che combina proprietà di isolamento e massa termica. E' composto da CNB Canabium®, legno di canapa certificata CenC, e LDN Legante Dolomitico Naturale®, un legante di calce idrata dolomitica.
- Rispettando i principi di sostenibilità sociale ed ambientale, ha tutte le qualità richieste ad un materiale da costruzione in linea con uno sviluppo sostenibile: alta capacità isolante, bassa energia incorporata e capacità di assorbire $CO^2$ dall'atmosfera.

*CNB Canabium* *NLB Natural Lime Binder*

## APPLICAZIONI

- Isolamento tetto e sottotetto
- Costruzione di muratura di tamponamento isolante e traspirante.
- Isolamento esterno 'a cappotto' di edifici esistenti
- Isolamento interno di edifici esistenti
- Isolamento sottofondi

## POSA IN OPERA

- Miscelazione dellle materie prime con acqua in miscelatrice o betoniera dacantiere e getto su tetto, sottotetto, sottofondo o in caseratura.
- Miscelazione diretta tramite pompa a proiezione e posa a spruzzo direttamente su muratura esistente (isolamento pareti), o su altro supporto per la formazione di muri di tamponamento: Biomattone®, lastre di magnesite, tufo, ecc.
- Le superfici esterne devono essere rivestite con intonachino colorato traspirante e/o calce.



## CARATTERISTICHE

- Comfort termico, acustico ed igrometrico: Natural Beton® è permeabile al vapore acqueo (traspira).
- Resistente al fuoco, al gelo, ad insetti e roditori.
- Assenza di fumi tossici in caso di incendio.
- Basso consumo di energia durante la fabbricazione.
- Riciclabile a fine vita.

*Dati tecnici validi da aprile 2015.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Spessore in cm* | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| *Densità in kg/m³* | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| *Conduttività termica in W/(mK)* | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,053 |
| *K Trasmittanza termica in W/(m²K)* | 0,49 | 0,33 | 0,25 | 0,17 | 0,13 |
| *Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ)* | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 4.50 |
| *Calore specifico (J/kgK)* | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| *Energia incorporata (MJ/m²)* | 70 | 100 | 160 | 200 | 300 |
| *Sfasamento (secondo ISO 13786) in ore* | 3h | 5h30' | 8h18' | 11h | 19h30' |
| *Reazione al fuoco con pannelli di magnesite* | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| | En13501-1 | En13501-1 | En13501-1 | En13501-1 | En13501-1 |
| | Classe 1 | Classe 1 | Classe 1 | Classe 1 | Classe 1 |

Equilibrium Srl - Via Mons. Moneta, 12 - 23900 Lecco (LC) | Tel 800 172553 | Fax 0341 188 1047 | info@equilibrium-bioedilizia.com | www.equilibrium-bioedilizia.it

# SUGHERO TOSTATO 100% NATURALE

Una scelta di stile,
un ritorno alle origini,
uno sguardo al futuro.

## CORKPAN

### IMPIEGHI

- CAPPOTTO ISOLANTE INTERNO/ESTERNO
- COPERTURE, SOTTOTETTI E TERRAZZE
- INTERCAPEDINI
- ISOLAMENTO ANTIVIBRANTE

### NATURALE AL 100%

- **Dimensioni**: 50 x 100 cm
- **Spessore**: da 10 a 320 mm
- **Densità**: 110 kg/m³
- **Conducibilità termica dichiarata a 10°C**: $\lambda_0$ = 0,039 W/mK
- **Conducibilità termica provata a 10°C**: $\lambda$ = 0,036 W/mK
- **Calore specifico**: 1900 J/KgK
- **Permeabilità al vapore**: $\mu$ = 20
- **Assorbimento di acqua**: ≤ 0,5 kg/m²
- **Resistenza al fuoco**: Euroclasse E
- **Rigidità dinamica** (per 50mm di spessore): ≤ 126 MN/m³
- **Resistenza alla flessione**: ≥ 130 kPa
- **Resistenza alla compressione**: (10% deformazione): ≥ 100 kPa
- **Resistenza alla trazione** (perpendicolare alle facce): ≥ 50 kPa



- 100% naturale e certificato per la Bioedilizia
- Senza uso di collanti chimici
- Durata illimitata nel tempo
- Atossico, traspirante, imputrescibile e impermeabile

### CERTIFICAZIONI CORKPAN

Marcatura CE EN13170

Prestazioni CE certificate da: ACERMI

Dichiarazione Durabilità

Certificazioni di sicurezza e ambientali

natureplus R0700144

Certificato n. EDIL.2009 005 — CERTIFICATO PER LA BIOEDILIZIA

EMISSIONE IN ARIA INTERNA A+

## BIBLIOGRAFIA


INTRODUZIONE

– Valentini V. “Operating energy ed embodied energy a confronto: caso studio di un edificio residenziale di medie dimensioni”; Tesi discussa presso il Politecnico di Torino; rel. Valentina Serra, Roberto Giordano; 2012

CAPITOLO 1

– Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini “Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l’architettura della casa” Editore Flaccovio Dario, 2010

– Nicola Sinopoli, Valeria Tatano “Sulle tracce dell’innovazione tra tecniche e architettura” Edizioni Franco Angeli, 2002

– Girardi C. “Eco-efficienza e innovazione tecnologica nella produzione industriale per l’edilizia. Criteri per la selezione di prodotti per gli interventi di retrofit.” Tesi discussa presso l’Università degli Studi di Napoli Federica II, Scuola di Dottorato in Architettura, rel. Losasso M, A. 2011

– Mario Losasso “Percorsi dell’innovazione: industria edilizia, tecnologie, progetto” Editore CLEAN, 2002

– Maurizio Cellura, Francesco Guarino, Sonia Longo, Giovanni Tumminia, “Climate change and the building sector: Modelling and energy implications to an office building in southern Europe”, in “Energy for Sustainable Development”, Volume 45, August 2018, Pages 46-47

– Monica Lavagna, Michele Paleari, Davide Mondini “Murature ad alte prestazioni : valutazioni termiche, acustiche, ambientali ed economiche di soluzioni di involucro in laterizio” Maggioli Editore, 2000

– Valentini V. “Operating energy ed embodied energy a confronto: caso studio di un edificio residenziale di medie dimensioni”; Tesi discussa presso il Politecnico di Torino; rel. Valentina Serra, Roberto Giordano; 2012





CAPITOLO 2

– Paolo Bergamaschi, Paolo Bertozzi, Agnese Ghini “Il sistema stratificato a secco : una tecnologia sostenibile per l’architettura della casa” Editore Flaccovio Dario, 2010

– Nicola Sinopoli, Valeria Tatano “Sulle tracce dell’innovazione tra tecniche e architettura” Edizioni Franco Angeli, 2002

– Marco Imperadori “La meccanica dell’architettura : la progettazione con tecnologia stratificata a secco” Editore Il Sole 24 ore, 2010

CAPITOLO 3

– Martino Milardi “L’edificio risorsa: Caratteri e indicatori di eco-efficienza in edilizia” Edizioni Nuova Cultura, Roma 2015

– Mario Losasso “Percorsi dell’innovazione - Industria edilizia, tecnologie, progetto” Clean Edizioni, Napoli 2010

– Colombo C., Ruggieri O. “Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce-canapulo” Tesi di Laurea discussa presso il Politecnico di Milano, rel. Prof Dotelli G., corr. Ing. Ruggieri G., A.A. 2011/2012

– Gaetano Vinaccia, “Gli agglomerati di sughero nell’edilizia moderna”, Usila, Roma, 1940

– Achille A., “Il sughero per un intervento low tech: un intervento di riqualificazione termica di un edificio storico mediante l’uso del sughero”, Tesi discussa presso il Politecnico di Torino, rel. Prof. Bocco A., A.A. 2013/2014

– Ambrosio D., “La paglia come materiale innovativo da costruzione per un’edilizia agro-compatibile: analisi di processo e valutazioni sperimentali delle prestazioni per la caratterizzazione del prodotto”, Tesi discussa presso il Politecnico di Torino, Scuola di Dottorato, rel. Caldera C., corr. Maritano Comoglio N., A. 2010

– Dora Francese, “Architettura e vivibilità”, Franco Angeli, 2007

CAPITOLO 4

– Cangelli E. - Paolella A. - Dierna S. “Il progetto ambientale degli edifici LCA, EMAS, Ecolabel, gli standard ISO applicati al processo edilizio.” Alinea editrice, Firenze 2001.

– Garavello A., “L’analisi del ciclo di vita di un componente edilizio in funzione di una dichiarazione ambientale EPD: focus su un telaio in alluminio  per serramenti”. Tesi di Laurea discussa presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino, rel. Tulliani J.M., cor. Giordano R., A.A. 2012/2013

– “Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources”, Europian Environment Agency (Risorsa online)

– Cristian Colombo, Ottavio Ruggieri; “Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a di calce-canapulo”; Tesi discussa presso Politecnico di Milano; Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territorio, Corso di Laurea di 2° Livello in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio; A.A 2011-2012.

CAPITOLO 5

– Relazione tecnica allegato all’istanza per Nulla-Osta alla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici del Piemonte con relativo Elaborato Progettuale del progetto MAACC.

– Documento di convenzione stipulata tra il Politecnico di Torino, il Comune di Cambiano e l’Associazione Off Grid Italia, per la realizzazione del parco “ReLand Planet. Parco sperimentale”.

– Relazione tecnico-illustrativa relativa al progetto soprannominato PVZEN.

CAPITOLO 7

– Fassi A., Maina L. “L’isolamento ecoefficiente”, Edizioni Ambiente, Perugia 2006

– Cristian Colombo, Ottavio Ruggieri; “Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a di calce-canapulo”; Tesi discussa presso Politecnico di Milano; Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territorio, Corso di Laurea di 2° Livello in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio; A.A 2011-2012.



– Pennacchio R., Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S. “Fitness: 1sheep-wool and hemp sustainable insulation panels”, pubblicata su “Energy Procedia 111 (2017)”

– Savio L., Bosia D., Thiebat F., Piccablotto G., Patrucco A., Fantucco S., Marino D. “Sheep wool for sustainable architecture”, pubblicata su “Energy Procedia 78 (2015)”

SITOGRAFIA


INTRODUZIONE
- www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2017-07-11/l-edilizia-legno-italia-raggiunge-quota-700-milioni 143305.shtml

- www.edilportale.com/news/2016/09/focus/costruzioni-in-legno-caratteristiche-e-vantaggi_53783_67.html

- www.cnafe.it/news-per-settore/news-costruzioni/2723-costruzioni-in-legno-settore-in-crescita-che-offre-opportunita-alle-imprese-locali.html

- www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/ipp/lca

- www.cosedicasa.com/ristrutturare/edilizia/materiali-bio-per-ledilizia-come-da-tradizione-dal-legno-alla-paglia-61942

- www.edilportale.com/news/2016/09/focus/costruzioni-in-legno-caratteristiche-e-vantaggi_53783_67.html

CAPITOLO 1
- www.itaca.org/documenti/news/RAPPORTO%20FILLEA-LEGAMBIENTE.pdf

- tesi.cab.unipd.it/59319/1/Marani_Elena_1086810.pdf
- isoladelgransasso.gov.it/dati/notizie/229.PDF

- www.corriere.it/ambiente/17_novembre_03/accordo-parigi-clima-obiettivi-lontani-temperatura-3-gradi-e0b01cec-c0c5-11e7-8b75-0df914d10fe2.shtml

- www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01000928.pdf

- al-warming-of-1-5c/http://www.ipcc.ch





CAPITOLO 2
- areeweb.polito.it/ricerca/IAM/wp-content/uploads/2017/12/archalp5.pdf

CAPITOLO 3
- www.equilibrium-bioedilizia.it

- en.wikipedia.org/wiki/World_Business_Council_for_Sustainable_Development

- www.wbcsd.org

- www.ideegreen.it/argilla-cruda-bio-edilizia

- www.eudomia.com/largilla

- www.reteingegneri.it

CAPITOLO 4
- Camera di commercio di Ancona, Le Etichette Ecologiche: www.an.camcom.gov.it/sites/default/files/GuidaEtichette%20Ecologiche.pdf

CAPITOLO 6

- www.be-eco.it

- www.nordlegnami.it

- ton-gruppe.it/

- www.equilibrium-bioedilizia.it/it/prodotto/biomattone

– www.cmfgreentech.com

– www.tecnosugheri.it

– www.davifil-bioisol.com

# RINGRAZIAMENTI

Giunte alla fine del nostro percorso, conclusosi con questo lavoro di tesi, ci teniamo a dedicare le ultime pagine, a tutti coloro che in questi anni ci sono stati accanto e ci hanno supportato.

Innanzitutto, ci teniamo a ringraziare il nostro relatore, Guido Callegari, per l'interessante proposta di tesi, che ci ha permesso di approfondire, sia da un punto di vista pratico che teorico, i temi in essa presentati.
Visto l'interesse e il grande coinvolgimento che hanno suscitato in noi, riteniamo che possano essere la spinta per l'inizio di un nuovo percorso.
Lo sviluppo di questa tesi è stato possibile anche grazie alla collaborazione e disponibilità dei professori Corrado Carbonaro e Francesca Thiebat, che hanno permesso di apprendere competenze pratiche, sicuramente utili per la nostra crescita formativa.
Inoltre, un riconoscimento va a tutti coloro con i quali abbiamo collaborato, e che si sono resi disponibili nel fornirci gli strumenti necessari per lo sviluppo di questa tesi.

Vogliamo ringraziare le nostre famiglie, che seppur distanti, ci sono sempre state vicine e ci hanno supportato. A loro, che sono stati la nostra più grande forza, dedichiamo questo traguardo, nella speranza che siano fiere di noi.

Ringraziamo Luca e Giorgio, che con la loro presenza e il loro appoggio, ci sono sempre stati accanto. Il loro supporto, è stato per noi un grande punto di forza, fondamentale per affrontare le sfide con le quali ci siamo confrontate.

Grazie anche ai nostri amici, compagni di vita, a cui dobbiamo gli attimi più spensierati. Assieme a loro abbiamo condiviso momenti di svago e divertimento, che hanno rappresentato un valore aggiunto alla nostra vita da studentesse. Non è mancato l'appoggio e l'affetto nei momenti più duri.

Un pensiero è dedicato alla nostra compagna di studi, Federica, con la quale abbiamo affrontato

questo percorso.  Impossibile dimenticare le lacrime, le delusioni, ma anche le nottate e le risate che hanno reso unici i momenti passati insieme.

Per concludere, un grande riconoscimento va a noi, che abbiamo deciso di intraprendere questo lavoro insieme. La collaborazione e il sostegno reciproco, sono stati gli “elementi chiave”  che ci hanno permesso di portare a termine questo progetto.

Dedichiamo quindi, la nostra tesi a tutti voi, che durante  il percorso accademico ci siete sempre stati accanto.

Alessandra e Federica